



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

Χ. Α. Κλεφτάκη

«Γεωργία ακριβείας σε οπωρώνα μηλιάς»

Βόλος, 2013

«Γεωργία ακριβείας σε οπωρώνα μηλιάς»

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή

Θ. Γέμτος (Επιβλέπων)
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Σ. Φουντάς (Μέλος)
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Γ. Νάνος (Μέλος)
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Καθηγητής
Γεωργική Μηχανολογία
Επίκουρος Καθηγητής
Γεωργική Μηχανολογία
Αναπληρωτής Καθηγητής
Δενδροκομία

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το αντικείμενο της παρούσας εργασίας ήταν να μελετηθεί η χωρική παραλλακτικότητα της παραγωγής, της ποιότητας των καρπών, των εδαφικών χαρακτηριστικών, της ευρωστίας των φυτών και της ανθοφορίας σε έναν οπωρώνα μηλιάς με σκοπό να διερευνηθεί η δυνατότητα εφαρμογής Γεωργίας Ακριβείας στον οπωρώνα αυτό. Για το σκοπό αυτό επιλέχθηκε ένας εμπορικός οπωρώνας στη περιοχή Αγίας Λάρισας στον οποίο έγιναν μετρήσεις κατά τη διάρκεια ενός έτους.

Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν ήταν χαρτογράφηση τοπογραφικού ανάγλυφου, χαρτογράφηση ηλεκτρικής αγωγιμότητας, χαρτογράφηση εδαφικών χαρακτηριστικών (μηχανική σύσταση, οργανική ουσία, περιεκτικότητα σε ασβέστιο και κάλιο), χαρτογράφηση του δείκτη ευρωστίας των φυτών NDVI, χαρτογράφηση ποιοτικών χαρακτηριστικών των καρπών (σκληρότητα καρπού, περιεκτικότητα χυμού σε διαλυτά στερεά συστατικά, οξύτητα χυμού, pH χυμού), χαρτογράφηση ανθοφορίας και χαρτογράφηση παραγωγής.

Η ανάλυση των δεδομένων έγινε με τη δημιουργία χαρτών που απεικονίζουν τη χωρική παραλλακτικότητα των μετρούμενων μεγεθών σε κάθε σημείο του αγρού και στη συνέχεια έγινε επεξεργασία των δεδομένων αυτών σε στατιστικό πρόγραμμα για να διερευνηθεί η συσχέτιση των μετρούμενων μεγεθών με την τελική παραγωγή του οπωρώνα.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι υπάρχει σημαντική χωρική παραλλακτικότητα στους παράγοντες που μελετήθηκαν και η ύπαρξη της υποδηλώνει ότι μπορούν να εφαρμοστούν τα συστήματα της Γεωργίας Ακριβείας. Επίσης τα αποτελέσματα έδειξαν ότι υπάρχει συσχέτιση μεταξύ της μεταβλητότητας κάποιων παραγόντων μέσα στον αγρό με την παραγωγή του οπωρώνα ενώ για κάποιους όχι. Τέλος συμπεραίνουμε ότι η χαρτογράφηση κάποιων χαρακτηριστικών θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σαν εργαλείο για τη δημιουργία ζωνών διαχείρισης με σκοπό την εφαρμογή των συστημάτων της Γεωργίας Ακριβείας την επόμενη χρονιά όπως επίσης θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την πρόβλεψη της παραγωγής του οπωρώνα για την αντίστοιχη χρονιά των μετρήσεων.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέπων Καθηγητή του Εργαστηρίου Γεωργικής Μηχανολογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, κ. Θ. Γέμτο, για την υπόδειξη του θέματος της μεταπτυχιακής διατριβής μου, τη βοήθεια και τη συμπαράσταση που μου προσέφερε κατά τη διάρκειά της.

Θερμές ευχαριστίες αποδίδονται στον Επίκουρο Καθηγητή του Εργαστηρίου Γεωργικής Μηχανολογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας κ. Σ. Φουντά, για την επιστημονική καθοδήγηση, τη συνεργασία του και τη βοήθεια που μου πρόσφερε στη συγγραφή της εργασίας μου.

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον Αναπληρωτή Καθηγητή Δενδροκομίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας κ. Γ. Νάνο για τις διορθώσεις-υποδείξεις του ως μέλος της εξεταστικής επιτροπής.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον υποψήφιο διδάκτορα Β. Λιάκο, για τη συνεργασία, την πολύτιμη καθοδήγησή του, τις χρήσιμες συμβουλές του για την πειραματική εργασία, αλλά και την άμεση υποστήριξή του σε κάθε επίπεδο, συμβάλλοντας ιδιαίτερος στην ομαλή εκπόνηση αυτής της εργασίας.

Τέλος, ευχαριστώ θερμά την οικογένειά μου για την ηθική και υλική υποστήριξη που μου παρέχουν σε κάθε επιλογή μου, δίνοντάς μου δύναμη να επιτυγχάνω τους εκάστοτε στόχους μου.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1	Εισαγωγή	1
1.1	Γενικά.....	1
1.2	Αντικείμενο και δομή της εργασίας.....	2
2	Βιβλιογραφική ανασκόπηση	4
2.1	Γεωργία Ακριβείας.....	4
2.2	Παγκόσμιο Σύστημα Προσδιορισμού Θέσης	7
2.2.1	Ιστορική αναδρομή	7
2.2.2	Λειτουργικά μέρη του GPS	8
2.2.3	Τρόπος προσδιορισμού θέσης με το GPS.....	10
2.2.4	Τηλεπισκόπηση.....	13
2.3	Χαρτογράφηση παραγωγής	17
2.4	Χαρτογράφηση εδαφικών ιδιοτήτων	18
2.4.1	Γενικά.....	18
2.4.2	Θρεπτικά στοιχεία του εδάφους.....	18
2.4.3	Μέθοδοι δειγματοληψίας του εδάφους.....	20
2.5	Χαρτογράφηση ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους (Soil electrical conductivity)	22
2.6	Ζώνες διαχείρισης (Management zones)	25
2.7	Η καλλιέργεια της μηλιάς	27
2.7.1	Γενικά για τη μηλιά.....	27
2.7.2	Ποικιλίες	27
2.7.3	Απαιτήσεις σε κλίμα, έδαφος, θρεπτικά στοιχεία και νερό	29
2.7.4	Τρόπος πολλαπλασιασμού και εγκατάσταση της καλλιέργειας.....	31
2.7.5	Τρόπος καλλιέργειας.....	32
2.7.6	Συγκομιδή - Χρήσεις του καρπού - Συντήρηση	36
2.7.7	Παραγωγικότητα.....	37
3	Υλικά και μέθοδοι.....	39
3.1	Περιγραφή πειράματος	39
3.2	Μετρήσεις.....	41
3.2.1	Χαρτογράφηση τοπογραφικού ανάγλυφου.....	41
3.2.2	Ηλεκτρική αγωγιμότητα	42
3.2.3	Δειγματοληψία εδάφους	42
3.2.4	Μέτρηση ευρωστίας των φυτών	44

3.2.5	Μετρήσεις ανθέων με πολυφασματική κάμερα και απλή φωτογραφική μηχανή.....	46
3.2.6	Μέτρηση ποιοτικών χαρακτηριστικών του καρπού	49
3.2.7	Συγκομιδή - Παραγωγή.....	50
4	Αποτελέσματα-Συζήτηση	52
4.1	Χαρτογράφηση ανάγλυφου	53
4.2	Χαρτογράφηση ηλεκτρικής αγωγιμότητας.....	54
4.3	Χαρτογράφηση εδαφολογικών χαρακτηριστικών	56
4.4	Χαρτογράφηση του δείκτη NDVI	63
4.5	Χαρτογράφηση ανθέων	67
4.6	Χαρτογράφηση ποιοτικών χαρακτηριστικών των καρπών.....	68
4.7	Χαρτογράφηση παραγωγής	73
5	Συσχετίσεις – Συμπεράσματα	75
5.1	Συσχετίσεις	75
5.2	Συμπεράσματα	80
	Βιβλιογραφία	82

1 Εισαγωγή

1.1 Γενικά

Η γεωργία έχει αλλάξει δραματικά, ειδικά από το τέλος του 2ου παγκόσμιου πολέμου και έπειτα. Η παραγωγή τροφίμων και ινών αυξήθηκε με τρομερούς ρυθμούς λόγω των νέων τεχνολογιών, της εκμηχάνισης, της αυξημένης χρήσης των χημικών ουσιών, της εξειδίκευσης και των κυβερνητικών πολιτικών που ενθάρρυναν την μεγιστοποίηση της παραγωγής. Έτσι με την εκμηχάνιση της γεωργίας και μέχρι σήμερα η διαχείριση των αγροκτημάτων γίνεται με βάση τους μέσους όρους της παραγωγής, των ιδιοτήτων του εδάφους και των χαρακτηριστικών της καλλιέργειας. Η βασική υπόθεση ήταν ότι οι αγροί ήταν ομοιόμορφοι. Παρ' όλο που οι αγρότες γνώριζαν ότι υπήρχε ανομοιομορφία των αγρών τους δεν είχαν αρκετές δυνατότητες να διαφοροποιήσουν τις καλλιεργητικές φροντίδες σύμφωνα με τις πραγματικές ανάγκες της καλλιέργειας σε κάθε σημείο του αγρού.

Η γεωπονική επιστήμη και η έρευνα που διεξάγεται έχουν καταφέρει να μεταφέρουν με επιτυχία ένα υπόβαθρο γνώσης στον αγροτικό πληθυσμό για την παραγωγή μεγαλύτερων ποσοτήτων αγροτικών προϊόντων με σχετικά χαμηλό κόστος. Τα τελευταία χρόνια οι εξωτερικές επιρροές όπως το παγκόσμιο εμπόριο, οι περιβαλλοντικές ανησυχίες και οι καταναλωτικές προτιμήσεις ασκούν νέες πιέσεις στη γεωργική βιομηχανία. Η ανάγκη να προσαρμοστούν οι αλλαγές της παραγωγής και του μάρκετινγκ έχει θέσει τους φορείς, που ασχολούνται με τη γεωργική έρευνα, σε μια διαδικασία αναζήτησης νέων τεχνολογιών.

Οι τεχνολογίες που παρέχουν πληροφορίες μπορούν να δώσουν την απάντηση στην αγορά και στις κοινωνικές πιέσεις. Υπάρχουν πλέον τεχνικές για να πραγματοποιούνται ακριβείς μετρήσεις και να υπάρχει συνεχής ενημέρωση για την κατάσταση του καλλιεργήσιμου εδάφους.

Η εφαρμογή των νέων τεχνολογιών στη γεωργία επέτρεψε τη μέτρηση της χωρικής και χρονικής παραλλακτικότητας των παραμέτρων της παραγωγής και του εδάφους και έδωσε τη δυνατότητα ανάπτυξης συστημάτων Γεωργίας Ακριβείας.

Με τον όρο Γεωργία Ακριβείας ορίζουμε τη διαχείριση της χωρικής και χρονικής παραλλακτικότητας των αγρών προκειμένου να βελτιωθεί η αποδοτικότητα των αγροκτημάτων και/ή να επιτευχθεί μείωση των αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον από την μη ορθολογική χρήση των εισροών.

1.2 Αντικείμενο και δομή της εργασίας

Η καλλιέργεια μήλων είναι διαδεδομένη τόσο στην Ελλάδα όσο και στον υπόλοιπο κόσμο. Παγκοσμίως καταλαμβάνει την τρίτη θέση στα οπωροφόρα δέντρα με ετήσια παραγωγή να αγγίζει τους 50.000.000 τόνους. Η μηλιά αποτελεί για την Ελλάδα την δεύτερη σπουδαιότερη δενδροκομική καλλιέργεια μετά την ροδακινιά με τον κύριο όγκο της παραγωγής να προέρχεται από τις ποικιλίες των κόκκινων μήλων.

Η σημερινή εποχή χαρακτηρίζεται από την ανάπτυξη της τεχνολογίας και τη χρήση αυτής σε όλους τους τομείς της καθημερινότητάς μας. Στη γεωργία και συγκεκριμένα στη καλλιέργεια μήλων υπάρχει η τάση της χρήσης νέων τεχνολογιών για την καλύτερη διαχείριση των οπωρώνων, για την αύξηση του κέρδους των παραγωγών και την προστασία του περιβάλλοντος. Αυτές είναι οι σημαντικότερες αρχές πάνω στις οποίες βασίζεται η γεωργία ακριβείας η οποία ορίζεται σαν μια νέα μέθοδος διαχείρισης της χωρικής και χρονικής παραλλακτικότητας των παραγόντων που επηρεάζουν την παραγωγή και την ποιότητα της κάθε καλλιέργειας.

Το αντικείμενο της παρούσας εργασίας ήταν:

- Η συγκέντρωση στοιχείων τα οποία επηρεάζουν την παραγωγή και την ποιότητα των μήλων.
- Η ανάλυση της χωρικής και χρονικής παραλλακτικότητας των στοιχείων με σκοπό να διερευνηθεί η δυνατότητα εφαρμογής της γεωργίας ακριβείας
- Ενημέρωση των αγροτών και της επιστημονικής κοινότητας με βάση τα αποτελέσματα για την καλύτερη διαχείριση των αγρών.

Για την εκπόνηση της μεταπτυχιακής διατριβής το εργαστήριο Γεωργικής Μηχανικής συνεργάζεται με τον παραγωγό κ. Παπαστεργίου Αλέξανδρο ο οποίος

παράγει μίλα διαφόρων ποικιλιών στην περιοχή της Αγιάς του Νομού Λάρισας. Η έρευνα αποσκοπεί στην εφαρμογή συστημάτων γεωργίας ακριβείας σε οπωρώνες μήλων και στην απόκτηση της απαραίτητης τεχνογνωσίας. Έγινε συλλογή διαφόρων στοιχείων του οπωρώνα και μέσω των αποτελεσμάτων της ανάλυσής τους θα προταθούν νέοι τρόποι για την καλύτερη διαχείριση των οπωρώνων. Ο όρος «καλύτερη διαχείριση των αγροκτημάτων» αποσκοπεί στην μείωση του κόστους παραγωγής μέσω της μείωσης των εισροών στους οπωρώνες, στην παραγωγή ποιοτικότερων προϊόντων και στην προστασία του περιβάλλοντος.

Μετά την εισαγωγή που προηγήθηκε, στο κεφάλαιο 2 γίνεται ανάλυση της βιβλιογραφίας σχετικά με τη γεωργία ακριβείας, τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στη γεωργία ακριβείας όπως το Παγκόσμιο Σύστημα Προσδιορισμού Θέσης (GPS), την χαρτογράφηση παραγωγής, την χαρτογράφηση των εδαφικών ιδιοτήτων, την χαρτογράφηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και τη δημιουργία ζωνών διαχείρισης. Τέλος γίνεται περιγραφή της καλλιέργειας της μηλιάς.

Στο κεφάλαιο 3 ακολουθεί το πειραματικό μέρος της εργασίας όπου περιγράφεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την λήψη των μετρήσεων όπως επίσης και η περιγραφή του εξοπλισμού που χρησιμοποιήθηκε.

Στο κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα, με τη δημιουργία χαρτών στο πρόγραμμα ArcMap, για την χαρτογράφηση της παραγωγής, των εδαφικών ιδιοτήτων, της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους, του δείκτη NDVI για την ευρωστία των φυτών, των ποιοτικών χαρακτηριστικών των καρπών και τέλος της ανθοφορίας..

Στο κεφάλαιο 5 δίνονται πίνακες με τα αποτελέσματα της συσχέτισης των δεδομένων, η επεξεργασία των οποίων έγινε με το στατιστικό πρόγραμμα SPSS και γίνεται προσπάθεια εξήγησης της χωρικής και χρονικής παραλλακτικότητας της παραγωγής βάση των συσχετίσεων αυτών. Τέλος δίνονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την εργασία αυτή καθώς και προτάσεις προς τους παραγωγούς για την καλύτερη διαχείριση των αγρών.

2 Βιβλιογραφική ανασκόπηση

2.1 Γεωργία Ακριβείας

Γεωργία Ακριβείας (Precision Agriculture) είναι μια νέα μέθοδος διαχείρισης των αγρών σύμφωνα με την οποία οι εισροές (φυτοφάρμακα, λιπάσματα, σπόρος, νερό άρδευσης) και οι καλλιεργητικές πρακτικές εφαρμόζονται ανάλογα με τις ανάγκες του εδάφους και των καλλιεργειών καθώς αυτές διαφοροποιούνται στο χώρο και στο χρόνο (Whelan and McBratney, 2000). Οι κύριοι στόχοι της Γεωργίας Ακριβείας είναι:

- η αύξηση της απόδοσης των καλλιεργειών
- η βελτίωση της ποιότητας των παραγομένων προϊόντων
- η πιο αποδοτική χρήση των αγροχημικών
- η εξοικονόμηση της ενέργειας
- η προστασία του εδάφους και των νερών από την ρύπανση

Η Γεωργία Ακριβείας είναι ένα σύστημα διαχείρισης αγροκτημάτων το οποίο χρησιμοποιώντας την πληροφορική και τα ηλεκτρονικά εφαρμοσμένα στη γεωργία, βοηθά το γεωργό στη λήψη αποφάσεων για τη καλύτερη διαχείριση του αγροκτήματος (Gemtos et al., 2002).

Ο όρος καλύτερη διαχείριση μπορεί να σημαίνει βελτίωση της οικονομικής απόδοσης του αγροκτήματος είτε με αύξηση της παραγωγής είτε με μείωση των εισροών, είτε με συνδυασμό και των δύο. Επιπλέον μπορεί να επιτευχθεί βελτίωση των τυχόν αρνητικών επιπτώσεων της γεωργίας στο περιβάλλον, εφόσον εφαρμόζεται η αναγκαία ποσότητα εισροών σε κάθε σημείο του αγρού. Το χαρακτηριστικό είναι ότι αντί να γίνονται οι καλλιεργητικές φροντίδες με βάση τις μέσες τιμές παραγωγής και γονιμότητας του εδάφους είναι δυνατή η εφαρμογή διαφορετικών δόσεων εισροών και άλλων καλλιεργητικών φροντίδων για κάθε τμήμα του αγρού ανάλογα με τις πραγματικές του ανάγκες.

Η εφαρμογή της γεωργίας ακριβείας στο χωράφι είναι μια σύνθετη διαδικασία που προϋποθέτει τη γνώση διαφόρων μεταβλητών του χωραφίου και την σύνθεση αυτών για να δώσει ένα τελικό αποτέλεσμα. Οι Markinos et. al., 2004 σχεδίασαν τα 3 στάδια ενός ολοκληρωμένου συστήματος Γεωργίας Ακριβείας. Το πρώτο στάδιο αφορά την συλλογή δεδομένων. Τα δεδομένα μπορούν να συλλεχθούν μέσω επίγειων μετρήσεων όπως ανάλυση εδάφους, μετεωρολογικά δεδομένα, μετρήσεις με αισθητήρες και χάρτες παραγωγής παλαιότερων ετών. Εκτός από επίγειες μετρήσεις μπορούν να γίνουν μετρήσεις μέσω αισθητήρων μέτρησης από απόσταση (Elms and Green, 1997) ή ακόμη και μέσω δορυφόρου αναλύοντας δορυφορικές εικόνες. Σημαντικό είναι το γεγονός ότι μετρήσεις θα πρέπει να λαμβάνονται καθ' όλη την καλλιεργητική περίοδο για λήψη όσο περισσότερων δεδομένων είναι εφικτό. Σε αυτό συμβάλει πολύ και η ανάπτυξη της τεχνολογίας καθώς αναπτύσσονται συνεχώς νέοι αισθητήρες που αυτοματοποιούν πάρα πολύ την διαδικασία λήψης δεδομένων.

Το δεύτερο στάδιο αναφέρεται στον υπολογισμό και την επεξεργασία των δεδομένων που συλλέχτηκαν. Ο τρόπος με τον οποίο επεξεργάζονται τα δεδομένα εξαρτάται κυρίως από την καλλιέργεια και τον αλγόριθμο που έχει δημιουργηθεί (McCauley, 1999, McKinion et al., 2001). Σημαντικό γεγονός σε αυτό το στάδιο μπορεί να θεωρηθεί η ύπαρξη μιας βιβλιοθήκης ή βάσης δεδομένων που να παρέχει στο σύστημα μια λογική για την εξαγωγή σωστών αποτελεσμάτων και κυρίως να διαχωρίσει το αγροτεμάχιο σε ζώνες (που ονομάζονται ζώνες διαχείρισης) στις οποίες τόσο το έδαφος όσο και οι καλλιέργειες θα έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά (Blackmore et al 2003).

Το τρίτο στάδιο αναφέρεται στην εφαρμογή και υιοθέτηση των γεωργικών πρακτικών σύμφωνα με τα αποτελέσματα του δεύτερου σταδίου. Θα πρέπει να τονιστεί ότι για να επιτευχθεί αυτό το στάδιο επιβάλλεται η χρήση παρελκόμενων που να υποστηρίζουν την εφαρμογή των μεταβλητών καλλιεργητικών φροντίδων στις ζώνες διαχείρισης που σχηματίστηκαν ήδη στο δεύτερο στάδιο (Bowers et al., 2001).

Οι πρώτες αναφορές σχετικά με την ανάγκη για διαχείριση της παραλλακτικότητας στο αγροτεμάχιο έγιναν ήδη από την αρχή του 20ού αιώνα από τους Eden & Maskell (1928) και Linsley & Bauer (1929), ενώ κατά τη δεκαετία του 1980, οι Johnson et al.

(1983) προχώρησαν στην περιγραφή μιας αυτόματης γεωργικής μηχανής ακριβείας. Η πρώτη πραγματική εφαρμογή, όμως, ήταν η κατασκευή συστήματος μίξης και διανομής λιπασμάτων σε κίνηση, που κατασκευάστηκε από την εταιρεία Soil Teq στις Η.Π.Α. (Fairchild, 1988) και το οποίο χρησιμοποιούσε πληροφορία από αεροφωτογραφία και εδαφικές αναλύσεις με βάση πλέγμα συντεταγμένων, για να παράγει ένα χάρτη εφαρμογής λιπασμάτων. Ο εντοπισμός της θέσης μέσα στο αγροτεμάχιο γίνονταν με στατικό υπολογισμό. Το 1992 στις Η.Π.Α., επετράπη η λειτουργία ιδιωτικών συστημάτων διαστημικής Τηλεπισκόπησης, ενώ το 1993 πραγματοποιήθηκε στη Μινεσότα η πρώτη διεθνής συνάντηση με θέμα τη Γεωργία Ακριβείας (First Workshop on Soil-specific Crop Management). Το 1994, επίσης στις Η.Π.Α., επετράπη η ελεύθερη χρήση από τους πολίτες δορυφορικών δεδομένων με χωρική ανάλυση ενός μέτρου, ενώ η πρώτη ευρωπαϊκή συνάντηση για τη Γεωργία Ακριβείας πραγματοποιήθηκε στη Μ. Βρετανία, το 1997.

Η χρήση των συστημάτων γεωργίας ακριβείας αποσκοπεί στη μείωση των εισροών στα αγροκτήματα εκμεταλλευόμενη την παραλλακτικότητα των ιδιοτήτων του εδάφους και της καλλιέργειας. Τα οφέλη που προκύπτουν από τη χρήση τέτοιων συστημάτων είναι οικονομικά αλλά και περιβαλλοντικά. Οι Bongiovanni και Lowenberg- Deboer (2004) αναφέρονται σε επιστημονικές έρευνες που έχουν γίνει τα τελευταία χρόνια σχετικά με τα περιβαλλοντικά οφέλη από την ορθολογιστική χρήση των εισροών στα αγροκτήματα. Σύμφωνα με τους Lambert και Griffin (2004) τα οφέλη από τέτοια συστήματα γεωργίας ακριβείας αναγνωρίζονται γρήγορα από τους παραγωγούς και αυτό βοηθά περισσότερο την εξάπλωση της εφαρμογής τους.

Η χρήση της γεωργίας ακριβείας στην Ελλάδα θα δώσει το κίνητρο για τον εκσυγχρονισμό της γεωργίας και θα βοηθήσει την μετάβαση της παραδοσιακής γεωργίας σε μοντέρνα γεωργία. Ακόμη θα δοθεί η ευκαιρία στους Έλληνες αγρότες να κατανοήσουν και να υιοθετήσουν νέες μεθόδους καλλιέργειας που θα επιτρέπουν την μειωμένη χρήση εισροών στα αγροκτήματα χωρίς να επηρεαστεί η τελική παραγωγή. Ο συνδυασμός συστημάτων γεωργίας ακριβείας μαζί με συστήματα ολοκληρωμένης διαχείρισης μπορεί να βοηθήσει σε μεγάλο βαθμό το εισόδημα των παραγωγών καθώς επίσης και τον πρωτογενή τομέα της Ελλάδας.

Μεγάλο πλεονέκτημα από την χρήση της γεωργίας ακρίβειας παρουσιάζεται στις καλλιέργειες των οπωροκηπευτικών καθώς η τιμή πώλησης των προϊόντων είναι αρκετά μεγάλη και έτσι μπορεί να γίνει γρήγορα η απόσβεση του εξοπλισμού της γεωργίας ακριβείας. Επίσης οι πολυετείς καλλιέργειες πλεονεκτούν έναντι των ετησίων καθώς κάθε χρονιά υπάρχουν τα ίδια φυτά στον αγρό και τα εδαφικά χαρακτηριστικά δεν αλλάζουν πολύ γρήγορα καθώς η κατεργασία του εδάφους είναι μηδαμινή.

Στην Ελλάδα γίνονται διάφορες έρευνες εφαρμογής γεωργίας ακριβείας στο εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας της σχολής Γεωπονικών Επιστημών του πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Μερικά παραδείγματα εφαρμογών γεωργίας ακριβείας έχουν γίνει σε οπωρώνες μήλων (Aggelopoulou et al. 2007), σε βαμβάκι (Markinos et al. 2004) και στο αμπέλι (Tagarakis et al. 2006)

2.2 Παγκόσμιο Σύστημα Προσδιορισμού Θέσης

2.2.1 Ιστορική αναδρομή

Το **GPS (Global Positioning System)**, **Παγκόσμιο Σύστημα Προσδιορισμού Θέσης** είναι ένα παγκόσμιο σύστημα προσδιορισμού θέσης, το οποίο βασίζεται σε ένα "πλέγμα" εικοσιτεσσάρων δορυφόρων της Γης, στους οποίους υπάρχουν ειδικές συσκευές, οι οποίες ονομάζονται "δέκτες GPS". Οι δέκτες αυτοί παρέχουν ακριβείς πληροφορίες για τη θέση ενός σημείου, το υψόμετρό του, την ταχύτητα και την κατεύθυνση της κίνησης του. Επίσης, σε συνδυασμό με ειδικό λογισμικό χαρτογράφησης μπορούν να απεικονίσουν γραφικά τις πληροφορίες αυτές (Betz, 2000).

Με τον όρο δορυφορικός εντοπισμός θέσης εννοείται ο προσδιορισμός των απολύτων και σχετικών συντεταγμένων σημείων με την επεξεργασία μετρήσεων προς ή από τεχνητούς δορυφόρους (Παντέλης και άλλοι, 2004).

Οι πρώτες εφαρμογές εμφανίστηκαν στις αρχές της δεκαετίας του 1960 με προβλήματα λόγω του εξαιρετικά μεγάλου χρόνου παρατηρήσεων και της χαμηλής ακρίβειας. Το 1964 το ναυτικό των ΗΠΑ εγκαίνιασε το διαστημικό σύστημα

πλοήγησης Transit, που λειτουργεί ακόμη και σήμερα. Οι δορυφόροι βρίσκονται σε χαμηλή τροχιά και το σύστημα δεν είναι πάντα διαθέσιμο. Η αρχή λειτουργίας βασίζεται στη μέτρηση της συχνότητας του σήματος με το φαινόμενο Doppler (Παντέλης και άλλοι, 2004).

Κατά τη δεκαετία του 1960 αναπτύχθηκε ένα άλλο πρόγραμμα του Αμερικανικού ναυτικού, το Timation, στόχος του οποίου ήταν να παρέχει δυσδιάστατα δεδομένα πλοήγησης και προσανατολισμού. Ταυτόχρονα, η αεροπορία των ΗΠΑ διεξήγαγε μελέτες για την ανάπτυξη ενός τρισδιάστατου συστήματος προσανατολισμού ονομαζόμενου 621B.

Το 1975 τα δύο παραπάνω προγράμματα ενοποιήθηκαν υπό την αιγίδα της αεροπορίας των ΗΠΑ, προκειμένου να δημιουργηθεί ένα σύστημα που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για στρατιωτικούς σκοπούς, το GPS. Τα πρώτα δοκιμαστικά σήματα μεταδόθηκαν από τον Navigation Test Satellite 8, τον Ιούνιο του 1977. Στη συνέχεια εκτοξεύθηκαν μια ομάδα δορυφόρων, προκειμένου να υπάρξει καλύτερη και πυκνότερη κάλυψη.

Σήμερα υπάρχουν σε χρήση τρία δορυφορικά συστήματα: το παλαιότερο που δεν προσφέρεται για γεωδαιτικές εφαρμογές σύστημα Transit και το νεότερο GPS, που χρησιμοποιείται πλέον για καθημερινές γεωδαιτικές εργασίες, καθώς και το ίδιας τεχνολογίας ρωσικό GLONASS. Επίσης βρίσκεται υπό κατασκευή το ευρωπαϊκό σύστημα Galileo.

2.2.2 Λειτουργικά μέρη του GPS

Το GPS αποτελείται από τρία μέρη:

- το δορυφορικό τμήμα,
- το τμήμα ελέγχου και
- το τμήμα χρήσης.

Το **δορυφορικό τμήμα** αποτελείται από 24 δορυφόρους που κινούνται σε τροχιά γύρω από τη γη σε απόσταση 20200km πάνω από την επιφάνεια της γης. Κάθε δορυφόρος κάνει μια περιστροφή γύρω από τη γη κάθε 12 ώρες. Οι δορυφόροι

ακολουθούν 6 τροχιές με 4 δορυφόρους σε κάθε τροχιά. Αυτή η διάταξη των δορυφόρων εξασφαλίζει ότι τουλάχιστον 4 δορυφόροι θα στέλνουν σήμα σε οποιοδήποτε σημείο της γης 24 ώρες τη μέρα. Κάθε δορυφόρος εκπέμπει ραδιοκύματα στην συχνότητα $L1=1575,42$ MHz και $L2=1227,60$ MHz. Τα ραδιοκύματα ταξιδεύουν με την ταχύτητα του φωτός στο κενό και με ελαφρά μικρότερη ταχύτητα στην ατμόσφαιρα της γης. Το σήμα $L1$ περιέχει έναν ακριβή κώδικα τον C/A (Coarsel/Acquisition Code). Το σήμα $L2$ φέρει μόνο τον κώδικα P(Precise Code) και χρησιμοποιείται για την διόρθωση της καθυστέρησης των σημάτων που οφείλεται στην ιονόσφαιρα. Και οι δύο αυτοί κώδικες χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της απόστασης μεταξύ δορυφόρου και δέκτη. Εκτός από τους παραπάνω κώδικες υπάρχει και ο κώδικας δεδομένων D (Data Code) που υπερτίθεται στα σήματα $L1$ και $L2$ και παρέχει διάφορες πληροφορίες όπως πχ για την πρόβλεψη της θέσης του δορυφόρου κάθε στιγμή, χρονικές καθυστερήσεις των δορυφορικών χρονομέτρων κ.α. (Δερμάνης, 1999). Ο κάθε δορυφόρος είναι επίσης εξοπλισμένος με 4 ατομικά ρολόγια (δύο καισίου και δύο ρουβιδίου). Τα ατομικά ρολόγια μετρούν το χρόνο με βάση τις φυσικές περιοδικές κινήσεις των ατόμων και είναι μεγάλης ακριβείας.

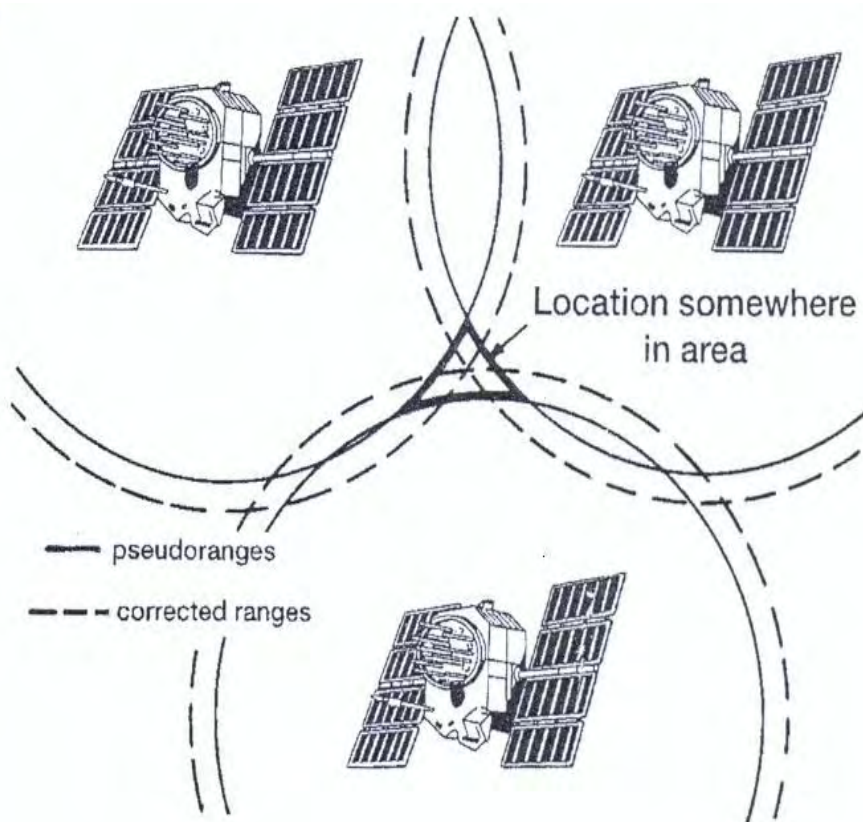
Το **τμήμα ελέγχου** αποτελείται από τους επίγειους σταθμούς που είναι τριών ειδών: ο κεντρικός σταθμός ελέγχου που βρίσκεται στο Colorado Springs των ΗΠΑ, οι 5 σταθμοί παρακολούθησης (Colorado Springs, Χαβάη, νήσος Ascension στο νότιο Ατλαντικό, Diego Garcia στον Ινδικό, Kwajalein στο νότιο Ειρηνικό) και οι 3 σταθμοί ελέγχου (Ascension, Diego Garcia, Kwajalein). Οι σταθμοί παρακολούθησης είναι εφοδιασμένοι με δέκτες που λαμβάνουν τα σήματα που εκπέμπουν συνεχώς οι δορυφόροι, τα οποία μετά από κάποια επεξεργασία μεταδίδονται στον κεντρικό σταθμό ελέγχου. Ο κεντρικός σταθμός ελέγχου χρησιμοποιεί αυτές τις πληροφορίες για να υπολογίσει τις ακριβείς τροχιές των δορυφόρων και να ενημερώνει τα σήματα πλοήγησης (Δερμάνης, 1999).

Το **τμήμα χρήσης** αποτελείται από τους χρήστες που είναι οι πολίτες και ο στρατός που χρησιμοποιούν το GPS για τον προσδιορισμό της θέσης ενός ανθρώπου ή ενός οχήματος στη γη. Οι δέκτες GPS που χρησιμοποιούν οι πολίτες δεν χρειάζονται άδεια λειτουργίας επειδή δεν στέλνουν σήματα αλλά μόνο λαμβάνουν

σήματα. Επίσης δεν υπάρχει οικονομική επιβάρυνση για την χρήση των δορυφορικών σημάτων του GPS.

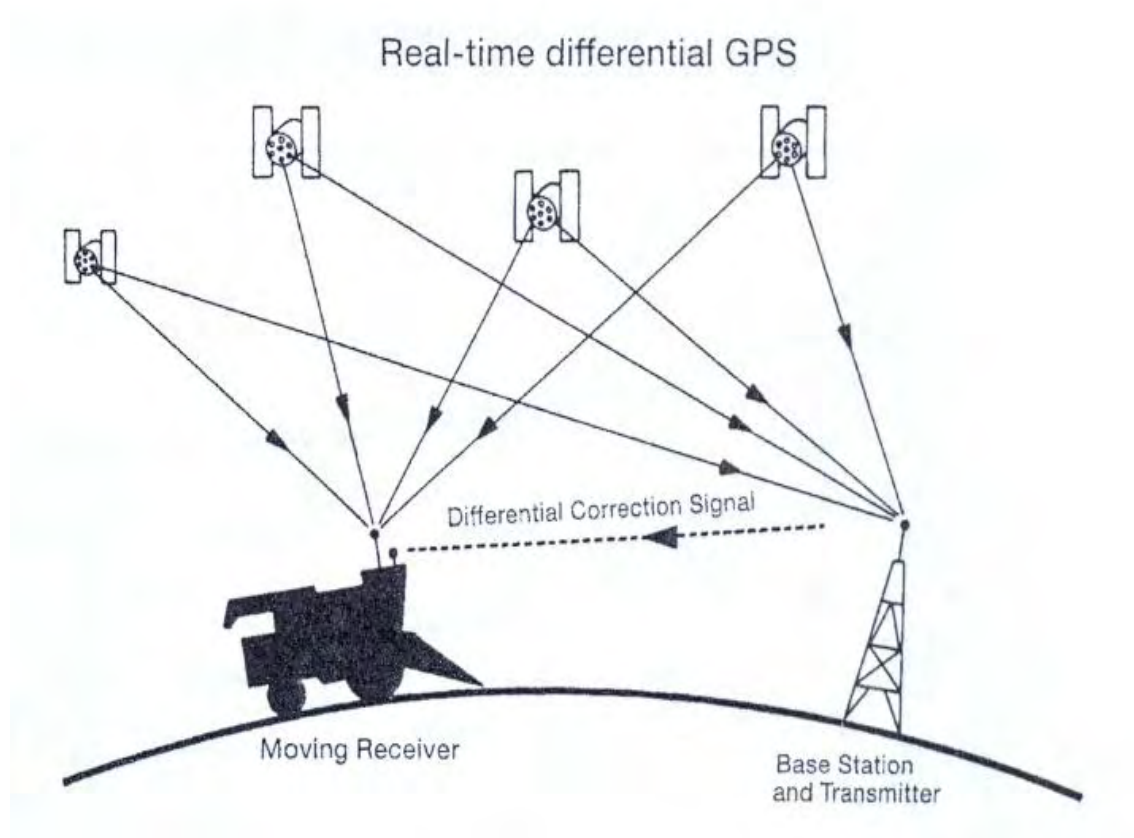
2.2.3 Τρόπος προσδιορισμού θέσης με το GPS

Οι δέκτες του GPS έχουν τη δυνατότητα μέτρησης του P και του C/A κώδικα. Ένα ακριβές αντίγραφο του κώδικα P ή C/A παράγεται εσωτερικά στο δέκτη. Στη συνέχεια ο δέκτης προσπαθεί να συσχετίσει το δικό του εσωτερικό κώδικα με το σήμα που λαμβάνει από το δορυφόρο. Έτσι μετράται ο χρόνος άφιξης του σήματος του δορυφόρου. Με την ανάγνωση και αποκωδικοποίηση του D κώδικα ο δέκτης μπορεί να αναγνωρίσει και τη στιγμή της εκπομπής του σήματος από το δορυφόρο. Η διαφορά του χρόνου άφιξης και του χρόνου εκπομπής καθορίζει το χρόνο που χρειάζεται το σήμα να διανύσει την απόσταση δορυφόρου δέκτη. Πολλαπλασιάζοντας το χρόνο αυτό με την ταχύτητα του φωτός μπορούμε να υπολογίσουμε την απόσταση δορυφόρου δέκτη, μια ψευδοαπόσταση που περιλαμβάνει πολλών ειδών καθυστερήσεις του σήματος, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως. Οι θέσεις των δορυφόρων όμως είναι γνωστές (από τον D κώδικα) σε χώρο και χρόνο, μπορούμε συνεπώς να καθορίσουμε τη θέση ενός δέκτη αν μετρήσουμε ταυτόχρονα τέσσερις ψευδοαποστάσεις προς τέσσερις δορυφόρους. Δηλαδή γνωρίζοντας την απόσταση ενός σημείου από ένα δορυφόρο τότε το σημείο αυτό βρίσκεται πάνω σε μια σφαίρα με κέντρο το δορυφόρο και απόσταση ίση με αυτή του σημείου. Γνωρίζοντας την απόσταση από δύο δορυφόρους το σημείο βρίσκεται σε ένα κύκλο που είναι το σημείο τομής των δύο σφαιρών. Γνωρίζοντας την απόσταση από τρεις δορυφόρους το σημείο βρίσκεται στο σημείο τομής των τριών σφαιρών που είναι δύο σημεία. Το ένα από τα δύο σημεία είναι το ζητούμενο καθώς βρίσκεται στη επιφάνεια της γης. Όμως λόγω των λαθών στη εκτίμηση της απόστασης από κάθε δορυφόρο οι τρεις αποστάσεις που μετράμε από τους τρεις δορυφόρους δεν καθορίζουν ένα σημείο αλλά ένα τρίγωνο (Εικόνα 2.2.3-1). Για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται το σήμα από ένα τέταρτο δορυφόρο για να βελτιώσει την εκτίμηση της θέσης του σημείου. Με τον τρόπο αυτό χρησιμοποιώντας σήματα από τέσσερις δορυφόρους μπορεί να γίνει εκτίμηση της θέσης ενός σημείου στη γη (γεωγραφικό μήκος, γεωγραφικό πλάτος και υψόμετρο).



Εικόνα 2.2.3-1. Μέθοδος προσδιορισμού θέσης με το GPS

Εναλλακτικά για ακόμη μεγαλύτερη ακρίβεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί η τεχνολογία DGPS. Το DGPS είναι ένας τύπος GPS που χρησιμοποιεί ένα σήμα από επίγειους δέκτες για να διορθώσει το σφάλμα που υπάρχει. Το σήμα αυτό προέρχεται από επίγειους σταθμούς των οποίων η θέση είναι γνωστή και λαμβάνοντας οι ίδιοι το σήμα από τους δορυφόρους κάνουν τη διόρθωση και εκπέμπουν το σφάλμα. Η ακρίβεια του συστήματος είναι από 30cm-1m (Εικόνα 2.2.3-2)



Εικόνα 2.2.3-2 Differential Global Positioning System (DGPS)

Σε περίπτωση που η εργασία απαιτεί μεγαλύτερη ακρίβεια από 1μ τότε γίνεται χρήση της τεχνολογίας RTK GPS η οποία είναι μια τεχνική προσδιορισμού θέσης που βασίζεται στη μέτρηση του φέροντος σήματος του GPS, όπου ένας επίγειος σταθμός παρέχει τη διόρθωση σε πραγματικό χρόνο με ακρίβεια ακόμη και ενός χιλιοστού (Εικόνα 2.2.3-3)



Εικόνα 2.2.3-3 Real Time Kinematic GPS

2.2.4 Τηλεπισκόπηση

Δεδομένης της δυσκολίας της συλλογής δεδομένων καθώς οι καλλιεργούμενες εκτάσεις είναι πολύ μεγάλες και της μεγάλης συχνότητας που απαιτείται να γίνεται η συλλογή τους, με τη βοήθεια της τεχνολογίας επιχειρείται η ανάπτυξη έξυπνων αισθητήρων οι οποίοι να μετρούν διάφορα χαρακτηριστικά του αγρού. Στόχος αυτής της προσπάθειας είναι να αυτοματοποιηθεί όσο γίνεται περισσότερο η διαδικασία της συλλογής δεδομένων.

Αποτελέσματα αυτής της προσπάθειας είναι εμφανή στις μέρες μας καθώς στις εκμηχανισμένες καλλιέργειες χρησιμοποιείται μια πληθώρα από αισθητήρες για την χαρτογράφηση της παραγωγής και των χαρακτηριστικών της παραγωγής. Πιο συγκεκριμένα υπάρχουν αισθητήρες που υπολογίζουν το πλάτος κοπής, την ταχύτητα του οχήματος, το βάρος και την υγρασία του προϊόντος σε κάθε σημείο του χωραφίου. Επιστημονικές προσπάθειες για την χαρτογράφηση της παραγωγής έχουν γίνει για διάφορες καλλιέργειες όπως έχει ήδη προαναφερθεί.

Η εξέλιξη όμως της τεχνολογίας δεν σταματά μόνο σε αυτού του είδους αισθητήρες. Η νέα τάση της γεωργίας θέλει τον παραγωγό να εποπτεύει τα αγροκτήματά του από απόσταση. Γι' αυτό έχουν αναπτυχθεί αισθητήρες που σαρώνουν την επιφάνεια της καλλιέργειας και καταγράφουν τα δεδομένα σε υπολογιστή για περαιτέρω ανάλυση. Η επιστήμη που χρησιμοποιείται στη συγκεκριμένη περίπτωση ονομάζεται τηλεπισκόπηση. Ένα από τα πλεονεκτήματα που παρέχει η τηλεπισκόπηση στους παραγωγούς είναι η ανάλυση του εδάφους. Η χρήση πολυφασματικών δορυφορικών εικόνων δίνει το πλεονέκτημα στους παραγωγούς να μελετούν κάθε σημείο του χωραφιού τους με ακρίβεια. Τα χαρακτηριστικά τα οποία μπορούν να μελετηθούν είναι η άργιλος, τα οξείδια του σιδήρου και σύνθετα ορυκτά. Μέχρι τώρα αυτού του είδους οι αναλύσεις γίνονταν με δειγματοληψία εδάφους και χημικές αναλύσεις οι οποίες κόστιζαν αρκετά λεφτά και ήταν χρονοβόρες. Αντιθέτως οι αναλύσεις των εικόνων είναι πιο προσιτές ως προς το κόστος ενώ ο χρόνος που απαιτείται είναι μηδαμινός.

Εκτός από τις αναλύσεις του εδάφους μπορεί μια δορυφορική εικόνα να μας δείξει ποιες περιοχές ενός χωραφιού έχουν υψηλή υγρασία και ποιές όχι. Αυτή η πληροφορία είναι πολύ χρήσιμη για τους παραγωγούς κυρίως εάν συνδυαστεί με το μέγεθος της κόμης των φυτών. Με αυτό τον τρόπο οι παραγωγοί μπορούν να εφαρμόσουν μεταβλητή άρδευση στο χωράφι τους δηλαδή να ρίχνουν στις καλλιέργειές τους τόσο νερό όσο χρειάζονται τα φυτά. Έτσι επιτυγχάνεται μια σημαντική μείωση του κόστους παραγωγής των προϊόντων ενώ παράλληλα οι παραγωγοί εξοικονομούν το νερό της γεώτρησής του. Επιπλέον οι πληροφορίες σχετικά με την υγρασία, το ποσοστό της αργίλου του εδάφους και το δείκτη ευρωστίας NDVI μπορούν να προσδιορίσουν ποιά φυτά είναι στρεσαρισμένα από νερό και ποιά όχι. Με αυτόν τον τρόπο ο παραγωγός μπορεί να εφαρμόσει μεταβαλλόμενη άρδευση και να γλιτώσει τα φυτά από έλλειψη νερού.

Η γνώση των παραγωγών για το ποιες είναι οι διαστάσεις των αγροτεμαχίων και το εμβαδόν τους είναι πολύ χρήσιμο για τους ίδιους καθώς ξέρουν επακριβώς τα χωρικά όρια των εκτάσεων που διαθέτουν και μπορούν να κάνουν διάφορα σχέδια βελτίωσης των καλλιεργειών τους. Η τοπογραφία μιας περιοχής παίζει σπουδαίο ρόλο στην ανάπτυξη των φυτών και στην ποσότητα της τελικής παραγωγής.

Το ανάγλυφο και το υψόμετρο τα οποία συγκροτούν την τοπογραφία και τοπολογία μιας περιοχής μπορούν να ανακτηθούν με ανάλυση αεροφωτογραφιών και δορυφορικών εικόνων. Η γνώση της τοπογραφίας και της τοπολογίας ενός χωραφίου ενδιαφέρει τον παραγωγό καθώς οι απότομες κλίσεις προκαλούν κυρίως διάβρωση του εδάφους. Γνωρίζοντας ο παραγωγός ποιες περιοχές είναι επικίνδυνες να διαβρωθούν μπορεί να προσαρμόσει τις καλλιεργητικές τεχνικές έτσι ώστε να μειώσει τον κίνδυνο της διάβρωσης. Ο τρόπος ο οποίος πραγματοποιείται μέχρι τώρα είναι με τη χρήση RTK-GPS για να υπάρχει ακρίβεια, όπου τόσο ο εξοπλισμός όσο και η εργασία είναι δαπανηρές.

Στη γεωργία υπάρχουν διαφόρων ειδών καλλιέργειες οι οποίες χωρίζονται σε δενδρώδεις και σε μεγάλες καλλιέργειες. Αυτές οι καλλιέργειες καταλαμβάνουν διαφορετικό όγκο στο χώρο και απαιτούν διαφορετικές καλλιεργητικές φροντίδες. Παρόλα αυτά η ανάλυση πολυφασματικών φωτογραφιών μας δίνει δεδομένα τα οποία είναι χρήσιμα σε όλες τις καλλιέργειες και άλλα τα οποία χρησιμοποιούνται σε ορισμένες μόνο.

Ένα από τα πλεονεκτήματα που παρέχει η τηλεπισκόπηση στους παραγωγούς είναι η παρακολούθηση των καλλιεργειών τους με απώτερο σκοπό να μειωθεί το κόστος παραγωγής των προϊόντων. Τα φυτά έχουν ένα συγκεκριμένο τρόπο να ανακλούν την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Αυτή η ιδιότητα οφείλεται στην φασματική υπογραφή της βλάστησης. Συγκεκριμένα η ανάκλαση της βλάστησης είναι πολύ χαμηλή στις μπλέ και κόκκινες περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος και μεγάλη στην πράσινη περιοχή. Γι' αυτό και τα φύλλα των φυτών είναι πράσινα. Σε αυτή την ιδιότητα των φυτών βασίστηκαν οι επιστήμονες και δημιούργησαν κάποιους δείκτες βλάστησης οι οποίοι μπορούν να υπολογιστούν με δορυφορικές εικόνες και αεροφωτογραφίες. Σημαντικότεροι δείκτες είναι οι NDVI (Normalised Difference Vegetation Index) και VI (Vegetation Index) οι οποίοι ανάλογα με την ακτινοβολία που ανακλάται από τα φυτά δείχνουν πόσο εύρωστα είναι. Με αυτόν τον τρόπο οι παραγωγοί μπορούν να προσέξουν περισσότερο τα φυτά που είναι « αδύναμα » έτσι ώστε να αποδώσουν τα μέγιστα στην πορεία εξέλιξης της καλλιέργειας.

Επίσης με τη χρήση των δεικτών που αναφέρθηκαν και με δορυφορικές εικόνες μπορούν να προσδιορισθούν αν τα φυτά του χωραφιού που μελετάμε είναι προσβεβλημένα από ασθένειες και με βάση του τρόπου εξάπλωσής της να καταλάβουμε το είδος της προσβολής. Έτσι οι παραγωγοί θα μπορούν να χρησιμοποιούν τα φάρμακα μόνο στα φυτά που είναι προσβεβλημένα οπότε θα επέλθει μια σημαντική μείωση του κόστους παραγωγής αν αναλογιστούμε και την ολοένα αύξηση των τιμών των γεωργικών φαρμάκων. Επιπροσθέτως, με την συνετή χρήση των φαρμάκων το παραγόμενο προϊόν θα είναι ποιοτικότερο με χαμηλή τιμή κάτι το οποίο ζητούν οι καταναλωτές.

Έχοντας πληροφορίες σχετικά με το δυναμικό της απόδοσης μιας καλλιέργειας σε πρώιμο στάδιο είναι πολύ χρήσιμο για τους παραγωγούς καθώς μπορούν από πολύ νωρίς να υπολογίσουν το εισόδημα που θα πάρουν. Με αυτόν τον τρόπο έχουν χρόνο να αναζητήσουν υποψήφιους αγοραστές για να διαθέσουν τα προϊόντα τους με καλές τιμές και να κάνουν διάφορες επενδύσεις στην αγροτική τους επιχείρηση.

Ένα παράδειγμα είναι η χρήση πολυφασματικών και υπερφασματικών καμερών οι οποίες προσαρμόζονται σε αερόστατα, αεροπλάνα ή και δορυφόρους για την εποπτεία των καλλιεργειών από απόσταση. Η λειτουργία των πολυφασματικών και υπερφασματικών καμερών στηρίζεται στη καταγραφή των αντικειμένων σε διάφορα φάσματα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και βοηθά πάρα πολύ στην ανάλυση των αντικειμένων που μελετώνται και κατ' επέκταση στην εξαγωγή σωστών συμπερασμάτων.

Ένα παράδειγμα που χρησιμοποιεί διάφορα φάσματα για εξαγωγή συμπερασμάτων για την καλλιέργεια είναι ο δείκτης NDVI (Solarì et al. 2008) ο οποίος σχετίζεται με το ποσοστό της χλωροφύλλης και αζώτου στα φυτά. Διάφορες μελέτες έχουν αποδείξει ότι το NDVI σχετίζεται με την πρόσληψη του αζώτου από τα φυτά (Humpreys, 2004). Άλλες εργασίες που έχουν γίνει αφορούν τον υπολογισμό διαφόρων δεικτών βλάστησης όπως NDVI, SNDVI, NDWI και SNDWI με ανάλυση δορυφορικών εικόνων. Οι Hansen et al., (2000) επίσης χρησιμοποίησαν δορυφορικά δεδομένα και χάρτες δασοκάλυψης από το πανεπιστήμιο του Maryland για να κάνουν σύγκριση της πιστότητας των δεδομένων χρησιμοποιώντας τον δείκτη NDVI. Το

αποτέλεσμα της έρευνας ήταν ικανοποιητικό καθώς με την χρήση του δείκτη NDVI μπόρεσαν να διακρίνουν τις αλλαγές στη βλάστηση και στο δάσος της περιοχής στο πέρασμα του χρόνου.

2.3 Χαρτογράφηση παραγωγής

Η χαρτογράφηση της παραγωγής είναι μια από τις σημαντικότερες διαδικασίες στην εφαρμογή της γεωργίας ακριβείας. Με την χαρτογράφηση της παραγωγής γίνεται μια προσπάθεια καταγραφής και απεικόνισης της παραγωγής σε ένα χωράφι.

Σύμφωνα με τον Stafford (2000), οι πρώτες προσπάθειες χαρτογράφησης της παραγωγής ξεκίνησαν το 1980 με κύριο σκοπό την χαρτογράφηση της καλλιέργειας σιτηρών. Συγκεκριμένα κατά τη κίνηση της θεριζοαλωνιστικής μηχανής στον αγρό καταγράφονταν η ταχύτητά της, η γεωγραφική της θέση ενώ παράλληλα μετρούνταν η υγρασία και η ροή του σπόρου με διάφορους αισθητήρες. Τα δεδομένα αυτά στη συνέχεια έθεσαν τις βάσεις για την χαρτογράφηση των χαρακτηριστικών του αγρού δηλαδή την δημιουργία χαρτών οι οποίοι παρουσιάζουν την χωρική παραλλακτικότητα της παραγωγής χρησιμοποιώντας το λογισμικό που χρησιμοποιείται στην επιστήμη των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφόρησης.

Εν συνεχεία από το 1990 μέχρι και σήμερα γίνονται προσπάθειες να δημιουργηθούν νέοι αισθητήρες μέτρησης της παραγωγής και να εξελιχθούν οι ήδη υπάρχοντες. Παραδείγματα τέτοιων προσπαθειών εμφανίζονται σε πολλές εκμεταλλεύσεις κυρίως φυτών μεγάλης καλλιέργειας όπως στα σιτηρά (De Baermaecker et al. 1985, Searchy et al. 1989, Stafford et al. 1991, Birrel et al. 1993, Zhang et al. 2008), στα ζαχαρότευτλα (Hoffman et al. 1995), στην πατάτα (Rawlins et al. 1995), στη βιομηχανική τομάτα (Pelletier et al. 1999), στο κρεμύδι (Bassam et al., 2008), στην πατάτα (Campbell et al. 1994), στο βαμβάκι (Durrence et al. 1998, Larson et al. 2005, Yang et al. 2004, Sui et al. 2010), στο φασόλι (Zandonadi et al. 2010). Προσπάθειες όμως έχουν καταγραφεί και σε δενδρώδεις καλλιέργειες όπως στα πορτοκάλια (Jadhav et al. 2010, Maja et al. 2010, Maja et al. 2009, Tumbo et al. 2002) και στη φιστικιά (Perry et al. 2008, Velidis et al. 2001, Tomasson et al. 2006). Παρά την προσπάθεια που γίνεται στις δενδρώδεις καλλιέργειες για την

χαρτογράφηση της παραγωγής στην πράξη παρουσιάζει κάποια προβλήματα όπως μη σωστή χαρτογράφηση και ανακριβές σήμα GPS.

2.4 Χαρτογράφηση εδαφικών ιδιοτήτων

2.4.1 Γενικά

Η κατανόηση της παραλλακτικότητας στο έδαφος είναι μια από τις παλαιότερες προκλήσεις που αντιμετωπίζουν οι αγρότες και οι επιστήμονες. Η τακτική δειγματοληψία και ανάλυση του εδάφους είναι η βάση για ένα πρόγραμμα λίπανσης με μεταβλητές δόσεις. Παρόλα αυτά στο παρελθόν όταν οι τιμές των λιπασμάτων ήταν χαμηλότερες ήταν πιο απλό η λίπανση να εφαρμοστεί ομοιόμορφα στον αγρό. Η δόση του λιπάσματος βασιζόταν στο μέσο όρο των εδαφικών ιδιοτήτων του αγρού. Η ανάπτυξη εξοπλισμού που βασίζεται στα ηλεκτρονικά για εφαρμογή λιπασμάτων και η ανάπτυξη του GPS έδωσε τη δυνατότητα στην ανάπτυξη αποτελεσματικών μεθόδων δειγματοληψίας και χαρτογράφησης με τις οποίες γίνεται ακριβής προσδιορισμός της χωρικής παραλλακτικότητας στο έδαφος (Wollenhaupt et al., 1994, Franzen and Peck, 1995, Pierce et al., 1995, Γκόλια 2003).

2.4.2 Θρεπτικά στοιχεία του εδάφους

Τα εδαφικά στοιχεία που χρειάζονται τα φυτά για την ανάπτυξή τους είναι (Μήτσιος, 2004):

- Τα κύρια στοιχεία άζωτο (N), φώσφορος (P), κάλιο (K).

Το άζωτο είναι για τα περισσότερα φυτά ίσως το πιο σημαντικό στοιχείο για την παραγωγή. Ο χρόνος εφαρμογής του N και οι μέθοδοι εφαρμογής παίζουν πολύ σπουδαίο ρόλο. Η εφαρμογή του N πρέπει να γίνεται την εποχή που είναι αναγκαίο για τα φυτά. Όταν η εφαρμογή του N δεν γίνεται την κατάλληλη εποχή υπάρχουν απώλειες λόγω απονιτροποίησης, έκπλυσης και εξαέρωσης (Μήτσιος, 2004). Η απονιτροποίηση συμβαίνει όταν μικροοργανισμοί στο έδαφος μετατρέπουν τα νιτρικά του εδάφους σε αέριο N. Αυτό συμβαίνει όταν το έδαφος είναι υγρό, συμπιεσμένο και ζεστό. Η έκπλυση του N γίνεται όταν το νερό της βροχής ή της άρδευσης παρασύρει το N στα βαθύτερα στρώματα του εδάφους. Η εξαέρωση γίνεται όταν τα λιπάσματα που εφαρμόζονται στην επιφάνεια του εδάφους μετατρέπονται σε αέρια αμμωνία. Επειδή το N μπορεί να χαθεί από το έδαφος με τους παραπάνω τρόπους πρέπει να

γίνεται η εφαρμογή του την εποχή που τα φυτά το χρειάζονται. Επίσης για τον ίδιο λόγο η δειγματοληψία του εδάφους για ανάλυση N πρέπει να γίνεται λίγο πριν την εφαρμογή του N.

Ο φώσφορος είναι βασικό στοιχείο για την ανάπτυξη των αναπαραγωγικών μερών του φυτού. Μεγάλες ποσότητες φωσφόρου βρίσκονται στους σπόρους και στους καρπούς (Στυλιανίδης και άλλοι, 2002). Ο φώσφορος συγκρατείται ισχυρά στο έδαφος δεν έχει απώλειες όπως το άζωτο και για το λόγο αυτό ο χρόνος εφαρμογής του δεν παίζει τόσο σπουδαίο ρόλο. Επειδή ο φώσφορος συγκρατείται από τα εδαφικά τεμάχια μπορεί να χαθεί λόγω διάβρωσης.

Το κάλιο παίζει ρόλο στην μετακίνηση ουσιών μέσα στο φυτό. Επίσης σχετίζεται με την ενεργοποίηση κάποιων ενζύμων που εμπλέκονται σε σημαντικές διεργασίες ανάπτυξης των φυτών. Το κάλιο επίσης επηρεάζει την ικανότητα των φυτών να αντέχουν στην έλλειψη υγρασίας (Στυλιανίδης και άλλοι, 2002). Από τη συνολική ποσότητα καλίου στο έδαφος μόνο το 1-10% είναι διαθέσιμο για τα φυτά (Μήτσιος, 2004). Για το λόγο αυτό οι αναλύσεις εδάφους αποσκοπούν στη μέτρηση του διαθέσιμου καλίου για τα φυτά έτσι ώστε να δοθούν συστάσεις για την ποσότητα που πρέπει να εφαρμοστεί.

➤ Τα δευτερεύοντα στοιχεία ασβέστιο (Ca), μαγνήσιο (Mg), θείο (S)

Από τα δευτερεύοντα στοιχεία το ασβέστιο διεγείρει την ανάπτυξη της ρίζας, του στελέχους και των φύλλων και βελτιώνει την αντίσταση των φυτών στις ασθένειες (Στυλιανίδης και άλλοι, 2002). Το μαγνήσιο είναι απαραίτητο για την παραγωγή της χλωροφύλλης και βοηθά στην παραγωγή πολλών συστατικών των φυτών όπως σάκχαρα, άμυλο και λίπη (Στυλιανίδης και άλλοι, 2002). Το θείο βρίσκεται στο πρωτόπλασμα των κυττάρων και βοηθά στη σύνθεση των πρωτεϊνών και ενισχύει την ικανότητα των φυτών να αντέχουν στις χαμηλές θερμοκρασίες (Στυλιανίδης και άλλοι, 2002).

➤ Τα ιχνοστοιχεία βόριο (B), χλώριο (Cl), χαλκός (Cu), σίδηρος (Fe), μαγγάνιο (Mn), ψευδάργυρος (Zn), και μολυβδαίνιο (Mo).

Τα ιχνοστοιχεία χρειάζονται στα φυτά σε πολύ μικρές ποσότητες και για το λόγο αυτό σπάνια παρουσιάζονται ελλείψεις ιχνοστοιχείων. Παρόλα αυτά σε μερικά εδάφη παρουσιάζονται ελλείψεις και μερικά είδη φυτών είναι ευαίσθητα στις ελλείψεις

κάποιων ιχνοστοιχείων. Για το λόγο αυτό πρέπει να γίνεται ανάλυση του εδάφους και για ιχνοστοιχεία.

Εκτός από τα θρεπτικά στοιχεία το pH του εδάφους επηρεάζει την παραγωγή. Το pH είναι ένα μέτρο της οξύτητας του εδάφους. Χαμηλό pH σημαίνει ότι στο εδαφικό διάλυμα υπάρχουν πολλά κατιόντα υδρογόνου τα οποία αντιδρούν με τα θρεπτικά στοιχεία και τα καθιστούν λιγότερο διαθέσιμα για τα φυτά.

Για την βελτίωση των όξινων εδαφών γίνεται προσθήκη ασβέστου (Μήτσιος, 1999). Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την παραγωγή είναι το ποσοστό της οργανικής ουσίας, η μηχανική σύσταση, η δομή (πυκνότητα και πορώδες), η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων, η κλίση και η τοπογραφία, η μέθοδος κατεργασίας του εδάφους, η στράγγιση, το βάθος και η συμπίεση του εδάφους (Στυλιανίδης και άλλοι, 2002). Τέλος εκτός από το επίπεδο των θρεπτικών στοιχείων και τις φυσικές ιδιότητες του εδάφους για την επίτευξη υψηλής παραγωγής είναι απαραίτητο να εξασφαλιστεί το κατάλληλο ποσοστό υγρασίας στο έδαφος με την άρδευση της καλλιέργειας.

2.4.3 Μέθοδοι δειγματοληψίας του εδάφους

Οι δύο πιο κύριες μέθοδοι δειγματοληψίας του εδάφους είναι:

- Δειγματοληψία πλέγματος (grid sampling)
- Δειγματοληψία κατευθυνόμενη με βάση ζώνες στο χωράφι που προσδιορίζονται από τον τύπο του εδάφους ή άλλα χαρακτηριστικά (directed sampling)

Στη δειγματοληψία πλέγματος γίνεται διαχωρισμός του αγρού σε τετράγωνα η ορθογώνια κελιά. Σε κάθε κελί λαμβάνονται δείγματα τα οποία αναμιγνύονται για να αντιπροσωπεύουν τις εδαφικές ιδιότητες του κελιού και στέλνονται στο εργαστήριο για ανάλυση. Με τον τρόπο αυτό γίνεται εκτίμηση των εδαφικών ιδιοτήτων σε μια κλίμακα μικρότερη από ολόκληρο το χωράφι.

Στη κατευθυνόμενη δειγματοληψία με βάση ζώνες στο χωράφι που προσδιορίζονται από τον τύπο του εδάφους ή άλλα χαρακτηριστικά η δειγματοληψία γίνεται από τμήματα του αγρού που έχουν παρόμοιο τύπο εδάφους ή άλλα παρόμοια

χαρακτηριστικά όπως οι ζώνες διαχείρισης. Για να γίνει αυτό ο παραγωγός βασίζεται σε θεματικούς εδαφολογικούς χάρτες.

Αρκετά δείγματα συλλέγονται και αναμιγνύονται από κάθε περιοχή με διαφορετικό τύπο εδάφους. Η διαφορά με την προηγούμενη μέθοδο είναι ότι εδώ οι αποστάσεις μεταξύ των δειγμάτων δεν είναι ίδιες. Αν κατά τη λήψη των δειγμάτων γίνεται ταυτόχρονα και καταγραφή της θέσης του δείγματος με GPS, στη συνέχεια με ένα κατάλληλο λογισμικό δημιουργούνται οι αντίστοιχοι θεματικοί χάρτες των εδαφικών ιδιοτήτων του αγρού.

2.5 Χαρτογράφηση ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους (Soil electrical conductivity)

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους ορίζεται ως η ευκολία με την οποία περνάει το ηλεκτρικό ρεύμα μέσα από τη μάζα του. Η αγωγή του ρεύματος γίνεται μέσω των τριχοειδών πόρων που σχηματίζουν μεταξύ τους τα εδαφικά συσσωματώματα. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα μετράται σε mSiemens/m και επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους είναι (Friedman, 2005, Corwin and Lesch, 2005) :

- Η μηχανική σύσταση του εδάφους. Η άμμος έχει μικρή, η ιλύς μέση και η άργιλος υψηλή αγωγιμότητα
- Η συμπίεση του εδάφους η οποία αυξάνει την ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους.
- Η περιεκτικότητα σε νερό αυξάνει την ηλεκτρική αγωγιμότητα
- Η αλατότητα. Η αύξηση της συγκέντρωσης των αλάτων στο έδαφος αυξάνει την ηλεκτρική αγωγιμότητα
- Η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων. Εδάφη με μεγάλη ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων έχουν μεγάλη ηλεκτρική αγωγιμότητα
- Η οργανική ουσία. Η οργανική ουσία αυξάνει την ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους γιατί συγκρατεί πολλά ιόντα
- Η θερμοκρασία του εδάφους. Κατά τη μεταβολή της θερμοκρασίας σε τιμές άνω του μηδενός η ηλεκτρική αγωγιμότητα μεταβάλλεται ελάχιστα. Όταν η θερμοκρασία πέσει κάτω του μηδενός η ηλεκτρική αγωγιμότητα μειώνεται σημαντικά

Η τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας σε ένα έδαφος δεν μεταβάλλεται σημαντικά με την πάροδο του χρόνου. Οι παράγοντες που μπορούν να επιφέρουν δραστικές αλλαγές στην τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας είναι:

- Η μεταφορά εδάφους πχ ισοπέδωση
- Το βαθύ όργωμα
- Η χρήση αρδευτικού νερού με πολλά άλατα
- Η προσθήκη μεγάλης ποσότητας οργανικής ουσίας
- Η προσθήκη εδαφοβελτιωτικών πχ ασβέστη για διόρθωση του pH

Για την εφαρμογή της γεωργίας ακριβείας μια σημαντική παράμετρος που μπορεί να μετρηθεί είναι η ηλεκτρική αγωγιμότητα. Αποτέλεσμα της χαρτογράφησης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας είναι ο σχηματισμός ομοιογενών ζωνών (Kitchen et al. 2005) καθώς με την ηλεκτρική αγωγιμότητα δίνει έμμεσα συμπεράσματα όπως η μηχανική σύσταση του εδάφους, η περιεκτικότητά του σε άλατα και υγρασία, την ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων, την οργανική ουσία και την θερμοκρασία του εδάφους (Humphreys, 2004, Friedman, 2005, Corwin and Lesch, 2005).

Η εξέλιξη της τεχνολογίας έχει δώσει τη δυνατότητα να μπορεί να μετρηθεί η φαινομενική ηλεκτρική αγωγιμότητα με δύο τρόπους. Ο ένας τρόπος είναι με επαφή. Με την μέθοδο της επαφής (contact method) μετριέται η πτώση δυναμικού μεταξύ ηλεκτροδίων στο έδαφος. Ο τρόπος αυτός προσφέρει ευκολία, ταχύτητα και χαμηλό κόστος. Η εταιρία “Veris technologies” έχει αναπτύξει μια σειρά από αισθητήρες μέτρησης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Πλεονέκτημα της χρήσης αυτού του αισθητήρα είναι ότι χαρτογραφηθούν μεγάλες εκτάσεις εύκολα και γρήγορα. Ο μηχανισμός στηρίζεται στην επιφάνεια του εδάφους πάνω σε δίσκους οι οποίοι έρχονται σε επαφή με το έδαφος και σέρνεται με ένα αγροτικό ελκυστήρα και πραγματοποιεί μετρήσεις ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους κάθε δευτερόλεπτο, ενώ με τη βοήθεια του GPS καταγράφει τη θέση του στον αγρό. Ένα άλλο πλεονέκτημα του αισθητήρα Veris είναι ότι καταγράφει τις τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας ταυτόχρονα στο επιφανειακό στρώμα του εδάφους (0-30 εκ.) και στο υπέδαφος (0-90εκ.). Στη συνέχεια οι μετρήσεις της ηλεκτρικής αγωγιμότητας σε συνδυασμό με τις συντεταγμένες των σημείων δειγματοληψίας μπορούν να παρουσιάσουν την παραλλακτικότητα της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του αγρού.

Η δεύτερη μέθοδος μέτρησης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας είναι με επαγωγή. Με την μέθοδο της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής (electromagnetic induction) μετριέται η επίδραση του εδάφους σε κάποιο μαγνητικό πεδίο. Η επίδραση αυτή σχετίζεται με την εδαφική ηλεκτρική αγωγιμότητα. Η μέθοδος αυτή είναι δύσκολη στην εφαρμογή απαιτεί συχνή βαθμονόμηση, είναι ευαίσθητη σε παρεμβολές μεταλλικών αντικειμένων και δίνει μετρήσεις που αφορούν ένα βάθος. Για αυτή τη μέθοδο έχει δημιουργηθεί ο αισθητήρας EM38 της εταιρίας Geonics. Εκτός από το γεγονός ότι μπορεί να συνεργαστεί με τεχνολογία GPS ένα άλλο πλεονέκτημά του είναι ότι κατά

τη διάρκεια της μέτρησης μπορεί να τοποθετηθεί πάνω σε ειδική κατασκευή η οποία πρέπει να είναι μονωμένη για να μην υπάρχουν παρεμβολές στο σύστημα ή μπορεί να κρατηθεί στο χέρι. Και στις δύο περιπτώσεις θα πρέπει ο αισθητήρας να απέχει μικρή απόσταση από το έδαφος. Μειονέκτημα του αισθητήρα είναι ότι πριν από κάθε μέτρηση πρέπει να ρυθμίζεται.

Έχουν γίνει εκτεταμένες έρευνες τα προηγούμενα χρόνια για να εκτιμηθεί η ακρίβεια των παραπάνω αισθητήρων όσον αφορά την αλατότητα και την υγρασία των εδαφών (Triantafilis and Lesch, 2005, Li and Stanghellini, 2001, Sudduth et al., 2001, Lesch et al. 2005) ενώ έρευνα έγινε και για την δυνατότητα διαχωρισμού των αγρών με βάση την ηλεκτρική αγωγιμότητα (Kitchen et al., 2005).

2.6 Ζώνες διαχείρισης (Management zones)

Η βάση ενός συστήματος Γεωργίας Ακριβείας είναι η διαμόρφωση στον αγρό ζωνών διαχείρισης που έχουν στόχο την εφαρμογή των εισροών σε μεταβλητές δόσεις. Ζώνη διαχείρισης είναι ένα επιμέρους τμήμα του αγρού που έχει κοινά χαρακτηριστικά και όπου η διαχείριση μπορεί να είναι ενιαία (Kitchen et al., 2005).

Βασικά χαρακτηριστικά που πρέπει να έχουν οι ζώνες διαχείρισης είναι τα εξής:

- Σταθερότητα στο χρόνο
- Ευκολία στην οριοθέτηση
- Συσχέτιση με την παραγωγή
- Χαμηλό κόστος δημιουργίας

Η δημιουργία των ζωνών διαχείρισης γίνεται αξιολογώντας όλες τις πληροφορίες που είναι διαθέσιμες για τον αγρό όπως είναι:

- Φυσικές ιδιότητες του εδάφους
- Δυνατότητες διαχείρισης του παραγωγού
- Πιθανό κέρδος του παραγωγού

Ο αριθμός των ζωνών διαχείρισης εξαρτάται από

- Το μέγεθος του αγρού
- Την παραλλακτικότητα του αγρού
- Τη δυνατότητα του παραγωγού να διαφοροποιήσει τις εισροές

Σχετικά με το μέγεθος των ζωνών διαχείρισης, το ελάχιστο μέγεθος καθορίζεται από την δυνατότητα του παραγωγού να διαφοροποιήσει τις εισροές σε ένα αγρό. Αυτό είναι συνάρτηση του μεγέθους του εξοπλισμού που χρησιμοποιεί. Το μέγιστο μέγεθος των ζωνών διαχείρισης καθορίζεται από τα περιθώρια του αγρού.

Οι ζώνες διαχείρισης μπορούν να δημιουργηθούν βάση της παραλλακτικότητας της παραγωγής των αγρών (Blackmore et al., 2003, Diker et al., 2004, Ping and Dobermann, 2003 and Dobermann et al., 2003, Jaynes et al., 2004, Xiang et al., 2007, Milne et al. 2011), και των πληροφοριών του τοπογραφικού ανάγλυφου (Lark and

Stafford 1997, Vitharana et al. 2007). Ωστόσο πολλοί ερευνητές προτείνουν τη χρήση της φαινομενικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας (Kitchen et al., 1999, Kitchen et al., 2003, Perry et al., 2007, Johnson et al., 2003, Yan et al. 2006, Morari et al., 2009, Sudduth et al., 1996, Fraisse et al., 2001b, Moral et al., 2010) ή τα εδαφολογικά χαρακτηριστικά (Qiang et al., 2009, Rodrigo et al., 2006, Davatgar et al. 2011, Zhong et al. 2008) ή το συνδυασμό του δείκτη NDVI και των χαρακτηριστικών του εδάφους για να οριοθετηθούν οι ζώνες (Yan et al., 2007). Τέλος, οι Fleming et al., 2000 χρησιμοποίησαν αεροφωτογραφίες του εδάφους για τη οριοθέτηση των ζωνών διαχείρισης ενώ οι Long et al., 1994 μετά από τη σύγκριση των πληροφοριών από τα εδαφολογικά χαρακτηριστικά και των αεροφωτογραφιών του εδάφους κατέληξε στο συμπέρασμα ότι ο καλύτερος τρόπος για την οριοθέτηση των ζωνών διαχείρισης είναι η ανάλυση των αεροφωτογραφιών.

Παρόλο που η δημιουργία των ζωνών διαχείρισης έχει μεγάλη σημασία στο τομέα της γεωργίας, δεν υπάρχουν πολλές έρευνες για ζώνες διαχείρισης σε οπωρώνες. Δημιουργία ζωνών διαχείρισης σε εσπεριδοειδή έγινε από τους Zaman and Schuman (2006) οι οποίοι βασίστηκαν στις ιδιότητες του εδάφους και στη παραγωγή. Σε ελαιόδεντρα οι Lopez Granados et al., (2004) δημιούργησαν ζώνες διαχείρισης σύμφωνα με την παραλλακτικότητα των θρεπτικών στοιχείων των φύλλων ενώ οι Fountas et al., (2010) βασίστηκαν στις χημικές ιδιότητες του οπωρώνα.

2.7 Η καλλιέργεια της μηλιάς

2.7.1 Γενικά για τη μηλιά

Η μηλιά *Malus rumilla* είναι ένα από τα πιο γνωστά οπωροφόρα δέντρα και καλλιεργείται σε όλα σχεδόν τα μέρη της γης για τους θρεπτικούς και εύγευστους καρπούς της. Ήταν γνωστή στους Αρχαίους Έλληνες και Ρωμαίους και μνημονεύεται από το Θεόφραστο κατά τον 3ο π.Χ. αιώνα. Το κύριο κέντρο εξάπλωσης του γένους *Malus* φαίνεται πως βρίσκεται κάπου ανάμεσα στην Ασία και δυτικά των επαρχιών της Κίνας (Janick *et al.*, 1996, Juniper *et al.*, 2001). Κέντρο καταγωγής της θεωρείται το Καζακστάν (Juniper *et al.*, 2001), από όπου μετέπειτα διαδόθηκε από τον άνθρωπο σε όλα σχεδόν τα μέρη της υφελίου, ακολουθώντας αρχικά τον δρόμο του μεταξιού. Η μηλιά παρουσιάζει υψηλή γενετική παραλλακτικότητα, που επέτρεψε την επιλογή τύπων προσαρμοσμένων σε διάφορα περιβάλλοντα. Η παγκόσμια τράπεζα συλλογής ποικιλιών μηλιάς αποτελεί μια αστείρευτη πηγή αντλήσεως επιθυμητών γονιδίων χρήσιμων σε προγράμματα βελτιώσεως της. Σήμερα καταβάλλονται προσπάθειες για την επιλογή και νέων τύπων με σκοπό την επέκταση της μηλοκαλλιέργειας σε ψυχρότερα μέρη της υφελίου.

Η μηλοκαλλιέργεια είναι διαδομένη στην Ευρώπη, στις ΗΠΑ, στη Ν. Αμερική, την Αυστραλία, την Ασία, τον Καναδά, τη Νέα Ζηλανδία, τη Ν. Αφρική και την Ιαπωνία. Στην Ελλάδα, η μηλοκαλλιέργεια έχει διαδοθεί στις 10 ψυχρότερες περιοχές, αλλά σε μορφή συστηματικών οπωρώνων εντοπίζεται κυρίως στην κεντρική και δυτική Μακεδονία (Βέρμιο, Φλώρινα, Πιερία), στη Θεσσαλία και στην Πελοπόννησο. Η μηλιά αντιπροσωπεύει σήμερα, κατά προσέγγιση, το 50% των φυλλοβόλων δένδρων παγκοσμίως. Η μεγαλύτερη παγκόσμια παραγωγή μήλων αποτελείται από ποικιλίες επιτραπέζιες και παρασκευής κομπόστας. Όμως, οι ποικιλίες διπλής χρήσεως αρχίζουν να κερδίζουν συνεχώς έδαφος.

2.7.2 Ποικιλίες

Οι περισσότερες καλλιεργούμενες ποικιλίες προήλθαν από το είδος *Mallus rumilla*. Οι ποικιλίες που καλλιεργούνται σε όλο το κόσμο είναι πάρα πολλές. Στην Ελλάδα καλλιεργούνται οι κόκκινες ποικιλίες (Red Delicious, Red Chief, Starkcimson), η Golden Delicious (μπανανόμηλα), η Granny Smith (πράσινο ξινόμηλο), το φιρίκι, η Jonagold, η Jonagored και οι νέες ποικιλίες Gala, Fuji και η Pink Lady.

Με βάση το χρώμα, την οξύτητα, την εποχή ωρίμανσης και τη γενετική σύσταση οι ποικιλίες της μηλιάς ταξινομούνται στις παρακάτω κατηγορίες (Βασιλακάκης, 2004):

❖ Ανάλογα με το χρώμα

- Κόκκινα μήλα (Red Delicious)
- Κίτρινα μήλα (Golden Delicious)
- Πράσινα μήλα (Granny Smith, Mutsu)
- Μήλα που δεν εμπίπτουν στις παραπάνω κατηγορίες

❖ Ανάλογα με την οξύτητα χυμού

- Γλυκά μήλα (Red Delicious)
- Ξινά μήλα (Granny Smith)
- Ενδιάμεσα

❖ Ανάλογα με την εποχή ωρίμανσης

- Θερινά μήλα (Jerseymac, Summerered)
- Σεπτεμβρίου (Red Delicious, Golden Delicious)
- Φθινοπωρινά (Granny Smith)

❖ Ανάλογα με τη γενετική σύσταση

- Διπλοειδείς (Red Delicious, Golden Delicious)
- Τριπλοειδείς (Jonagold, Mutsu)

Στην εργασία αυτή μελετήθηκε η ποικιλία Fuji. Η κύρια ποικιλία του οπωρώνα είναι η Fuji και η επικονιάστρια ποικιλία η Red Chief.

Fuji: ο καρπός είναι σφαιρικο-κωνικός, με ελαφρές γραμμώσεις, ροζέ επίχρωμα και χρώμα περισσότερο έντονο στις ορεινές περιοχές. Η σάρκα του καρπού έχει χρώμα υποκίτρινο, έχει γλυκεία γεύση, είναι τραγανή, χυμώδης και έχει μεγάλο χρόνο διατήρησης στο ράφι (Marquina, 2004). Ωριμάζει 3-4 εβδομάδες μετά τη Red Delicious και πριν τη Granny Smith. Καρπική περίοδος 180-190 μέρες. Η μεταβολή του βασικού χρώματος από πράσινο σε ανοιχτό πράσινο είναι καλός δείκτης ωρίμανσης για συγκομιδή. Είναι δέντρο μέτριας ζωηρότητας με μακρούς κρεμάμενους βλαστούς. Έχει μέτριες απαιτήσεις σε χαμηλές θερμοκρασίες. Έχει μακρά περίοδο άνθησης. Έχει την τάση να παρεννιαυτοφορεί. Χαρακτηρίζεται ως ποικιλία υψηλής ποιότητας.

2.7.3 Απαιτήσεις σε κλίμα, έδαφος, θρεπτικά στοιχεία και νερό

Η μηλιά είναι δένδρο των ψυχρών και υγρών περιοχών. Ευδοκιμεί εκεί που εξασφαλίζονται αρκετό χειμερινό ψύχος για τη διακοπή του λήθαργου των οφθαλμών και δροσερό καλοκαίρι (μέγιστη θερμοκρασία μέχρι 29°C). Απαντάται δε μέχρι υψόμετρου 1500 μέτρων.

Οι περιοχές που γειτνιάζουν με υδάτινες επιφάνειες (θαλάσσης, λιμνών, ποταμών) προσφέρονται καλύτερα για την καλλιέργεια της μηλιάς, λόγω της μειώσεως του κινδύνου να προκληθούν ζημιές από παγετό, καθώς η υδάτινη επιφάνεια συντελεί στη διατήρηση της θερμοκρασίας σε επιθυμητά επίπεδα, τη νυκτερινή, κατά την άνοιξη και φθινόπωρο και την ημερήσια και νυκτερινή, κατά το χειμώνα. Κατά δε τους θερινούς μήνες συντελεί η ημερήσια θερμοκρασία να είναι χαμηλότερη κοντά στις υδάτινες επιφάνειες. Στις παραθαλάσσιες όμως ανεμόπληκτες περιοχές μπορεί να προκληθούν ζημιές από τα σταγονίδια της θάλασσας στα φύλλα και στους καρπούς της.

Η θερμοκρασία του καλοκαιριού επηρεάζει την εμφάνιση του κόκκινου χρώματος των καρπών και κατά συνέπεια την ποιότητα της παραγωγής σε χώρες, που το καταναλωτικό κοινό προτιμά τις κόκκινες ποικιλίες. Ως καταλληλότερη θεωρείται μια μέση θερμοκρασία 20°-21°C κατά τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο. Οι πολύ ψηλές θερμοκρασίες, όταν συνοδεύονται και από σημαντική έλλειψη εδαφικής υγρασίας, προξενούν σοβαρές ζημιές στην παραγωγή. Οι πολύ χαμηλές θερμοκρασίες (κάτω των -25°C) το χειμώνα μπορεί να προξενήσουν ζημιές στα δένδρα, κυρίως, όταν ήπιες καιρικές συνθήκες ακολουθούνται από πολύ χαμηλές θερμοκρασίες. Η ανθεκτικότητα των ποικιλιών της μηλιάς στις χαμηλές θερμοκρασίες και οι απαιτήσεις τους σε ήπιους χειμώνες και ζεστά καλοκαίρια εξαρτάται από την ποικιλία.

Η μηλιά ευδοκιμεί σε περιοχές με ετήσιο ύψος βροχόπτωσης πάνω από 500 mm, που κατανέμεται σε όλη τη διάρκεια της βλαστικής της περιόδου. Σε περιοχές με λιγότερη βροχόπτωση χρειάζεται πότισμα. Η υψηλή σχετική υγρασία, κατά την περίοδο της καρποφορίας, αποτελεί περιοριστικό παράγοντα, λόγω προσβολών από ασθένειες, κυρίως της σκωρίασης. Επίσης, η ηλιακή ακτινοβολία είναι απαραίτητη,

γιατί επηρεάζει σημαντικά το χρώμα των καρπών, χαρακτηριστικό, που καμιά φορά, καθορίζει την ποιότητα των καρπών. Οι οπωρώνες μηλιάς όμως δεν πρέπει να είναι εκτεθειμένοι σε ισχυρούς ανέμους, γιατί τότε τα δένδρα διατρέχουν τον κίνδυνο να υποστούν σοβαρές ζηράνσεις.

Η μηλιά έχει μεγαλύτερες ανάγκες σε ψύχος από οποιοδήποτε άλλο φυλλοβόλο καρποφόρο είδος (800-1700 ώρες χαμηλότερες από 7°C). Η ανάγκη αυτή αποτελεί περιοριστικό παράγοντα για την επιτυχή καλλιέργεια της σε θερμές περιοχές. Μετά από θερμούς χειμώνες, πολλοί οφθαλμοί δεν εκπύσσονται, η βλάστηση είναι αδύνατη, η άνθηση χρονικά ανώμαλη, η καρποφορία περιορισμένη και η ωρίμαση των καρπών ασύγχρονη. Οι μη εκπυττούμενοι καρποφόροι οφθαλμοί, που βρίσκονται σε λήθαργο, δεν αποβάλλονται, όπως συμβαίνει στα πυρηνόκαρπα (βερικοκιά, ροδακινιά), αλλά περικλείουν άνθη (μερικά ή όλα) ατελή. Οι οπωρώνες που εγκαθίστανται σε επίπεδες τοποθεσίες, που περιβάλλονται από λόφους, δεν είναι εκτεθειμένοι μόνο στους παγετούς της άνοιξης, αλλά διατρέχουν τον κίνδυνο να υποστούν σοβαρές ζημιές και κατά το χειμώνα, όταν σημειωθούν πολύ χαμηλές θερμοκρασίες. Η επιλογή μιας κατηφορικής τοποθεσίας, που καταλήγει σε επίπεδη επιφάνεια, όπου τα ψυχρά ρεύματα διαφεύγουν εύκολα, αποτελεί τοποθεσία κατάλληλη για εγκατάσταση οπωρώνων. Η επιλογή τέτοιων τοποθεσιών δε μειώνει μόνον τον κίνδυνο ζημιών από όψιμους παγετούς, αλλά παρεμποδίζει και τη γρήγορη εξάπλωση των μυκητολογικών ασθενειών.

Οι μεγαλύτερες αποδόσεις όμως λαμβάνονται στις πεδινές περιοχές, όπου υπάρχει δυνατότητα εντατικής εκμετάλλευσης και η καλύτερη ποιότητα στις ημιορεινές ή ορεινές λόγω πιο ευνοϊκού κλίματος. Έτσι έχει καθιερωθεί στις πεδινές περιοχές (γόνιμα εδάφη- κλίμα όχι άριστο) να καλλιεργούνται κίτρινα και πράσινα μήλα, ενώ στις ορεινές και ημιορεινές περιοχές (εδάφη φτωχά- κλίμα όχι άριστο) να καλλιεργούνται κόκκινα μήλα υψηλής ποιότητας. Συνήθως η πυκνή φύτευση γίνεται σε πεδινές περιοχές όπου η κίνηση των μηχανημάτων είναι δυνατή και τα εδάφη είναι γόνιμα.

Η μηλιά ευδοκimeί σε εδάφη, που έχουν διάφορη σύσταση. Προτιμά όμως εδάφη γόνιμα, βαθειά, καλά στραγγιζόμενα και επαρκώς εφοδιασμένα με ασβέστιο.

Σημαντικό είναι το υπέδαφος να αποστραγγίζεται καλά, γιατί οι ρίζες της μηλιάς είναι πολύ ευαίσθητες σε περίσσεια νερού. Έτσι το συνεκτικό υπέδαφος περιορίζει την ανάπτυξη των ριζών και μειώνει τη ζωηρότητα και τη διάρκεια ζωής των δένδρων. Τα εδάφη με πολύ άργιλο ή με συνεκτικό υπέδαφος πρέπει να αποφεύγονται. Σαν καταλληλότερο έδαφος θεωρείται εκείνο που έχει σύσταση αμμοπηλώδη και βάθος δυο ή και περισσότερα μέτρα, αν και μερικοί οπωρώνες δίνουν ικανοποιητικές αποδόσεις και σε πιο αβαθή εδάφη. Το pH του εδάφους πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 6,5 έως 6,8.

2.7.4 Τρόπος πολλαπλασιασμού και εγκατάσταση της καλλιέργειας

Η μηλιά πολλαπλασιάζεται με σπόρο ή με μοσχεύματα και καταβολάδες. Όταν όμως πολλαπλασιάζεται με σπόρο, τα σπορόφυτα που παράγονται διαφέρουν τόσο ως προς τους γονείς, όσον και μεταξύ τους. Επομένως οι ποικιλίες αναπαράγονται πιστά μόνο με αγενή πολλαπλασιασμό.

Συνήθως η μηλιά αποτελείται από το υποκείμενο και το εμβόλιο. Το υποκείμενο περιλαμβάνει το ριζικό σύστημα του δένδρου και τμήμα του κορμού του, ενώ το εμβόλιο την κόμη του δένδρου και το υπόλοιπο τμήμα του κορμού. Τα υποκείμενα της μηλιάς διακρίνονται σε υποκείμενα-σπορόφυτα και σε υποκείμενα-κλώνους. Τα υποκείμενα-σπορόφυτα παράγονται από σπόρο, ενώ τα υποκείμενα-κλώνοι παράγονται με αγενή πολλαπλασιασμό του κλώνου. Τα υποκείμενα της μηλιάς πολλαπλασιάζονται αγενώς κυρίως με μοσχεύματα σκληρού ξύλου και με καταβολάδα κατά σύμματα ή κεφαλή ιτιάς.

Το έδαφος, που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για την εγκατάσταση του μηλεώνα, οργώνεται πριν από τη φύτευση σε βάθος 30-40 cm. Το όργωμα αποσκοπεί στην καταστροφή των πολυετών ζιζανίων και στην αερατοποίηση του εδάφους, που είναι απαραίτητη για την καλύτερη ανάπτυξη του ριζικού συστήματος των δένδρων. Πριν από το όργωμα λαμβάνονται δείγματα εδάφους και γίνονται αναλύσεις και ανάλογα με τα αποτελέσματα της αναλύσεως καθορίζεται το είδος και η ποσότητα των χημικών λιπασμάτων, που είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη των μηλεοδένδρων. Αν στο έδαφος, που πρόκειται να εγκατασταθεί ο οπωρώνας, υπήρχε οπωρώνας, τότε το

έδαφος αφήνεται για μια τετραετία σε αγρανάπαυση ή σπέρνεται με αγρωστώδες για αυτό το χρονικό διάστημα με σκοπό την για εξάλειψη των ασθενειών.

Οι περισσότερες ποικιλίες είναι μερικώς ή πλήρως αυτόστειρες, όταν όμως αυτογονιμοποιηθούν δίνουν πολύ μικρή παραγωγή ή και καθόλου και γι' αυτό είναι απαραίτητη η σταυρογονιμοποίηση προκειμένου να επιτευχθεί ικανοποιητική παραγωγή. Έτσι σε επιχειρηματικούς οπωρώνες οι επικονιάστριες ποικιλίες είναι απαραίτητες. Οι ποικιλίες αυτές πρέπει να ανθίζουν κανονικά κάθε χρόνο, να παράγουν υψηλό ποσοστό ζωτικής γύρης, να είναι συμβιβαστές και να ανθίζουν κατά το ίδιο χρονικό διάστημα με την κύρια καλλιεργούμενη ποικιλία. Επίσης πρέπει να είναι και εμπορεύσιμες ποικιλίες.

2.7.5 Τρόπος καλλιέργειας

Η καλλιέργεια του εδάφους του μηλεώνα αποσκοπεί στην αύξηση ή διατήρηση της περιεκτικότητας του σε χούμο, στην αποθήκευση νερού και παρεμπόδιση της διάβρωσης του, στη διατήρηση της γονιμότητας του και στην ποσοτική και ποιοτική αύξηση της παραγωγής. Διενεργείται δε με μηχανικά ή χημικά μέσα. Τα ζιζανιοκτόνα, που χρησιμοποιούνται σε μηλεώνες, χωρίζονται σε δυο κατηγορίες:

- α) προφυτρωτικά (προστίθενται στο έδαφος προτού φυτρώσουν τα ζιζάνια) και
- β) μεταφυτρωτικά.

Τα συστήματα φυτεύσεως, που εφαρμόζονται στη μηλοκαλλιέργεια, διαφέρουν μερικές φορές όχι μόνο μεταξύ των χωρών, αλλά και στην ίδια χώρα από περιοχή σε περιοχή. Τα διάφορα αυτά συστήματα φυτεύσεως διακρίνονται σε εκτατικά (7 x 5 m), ημiekτατικά (5 x 3 m), πυκνής φυτεύσεως (1,2-3x0,5-1,25 m) και πολύ πυκνής φυτεύσεως (0,45x0,30 m).

Οι παράγοντες, που καθορίζουν την εφαρμογή του καθενός απ' αυτά σχετίζονται με την παραγωγική τους ικανότητα, με τις εδαφοκλιματικές και δενδροκομικές συνθήκες της περιοχής. Τα νάνα υποκείμενα, που είναι απαραίτητα για την εφαρμογή κάποιου συστήματος πυκνής ή πολύ πυκνής φυτεύσεως, μερικές φορές δε μπορεί να χρησιμοποιηθούν σε χώρες ή περιοχές, όπου σημειώνονται συχνά παγετοί και το έδαφος δεν είναι αρκετά γόνιμο. Στην περίπτωση που ο στόχος των παραγωγών είναι

η υψηλότερη παραγωγικότητα των οπωρώνων τους κατά μονάδα επιφανείας σε συντομότερο χρονικό διάστημα προτιμώνται τα συστήματα πυκνής φυτεύσεως.

Οι πρώτοι οπωρώνες υπέρπυκνης φύτευσης αναπτύχθηκαν στην περιοχή Bodensee της Γερμανίας προς το τέλος της δεκαετίας του '80. Αυτό το σύστημα χρησιμοποιεί μεγάλες πυκνότητες δέντρων για να εξασφαλίσει γρήγορη παραγωγή μεγάλων αποδόσεων, με λιγότερη χειρωνακτική εργασία, μικρότερες εισροές χημικών με συνέπεια το χαμηλό κόστος παραγωγής και τη δυνατότητα να εισαχθούν γρήγορα νέες πολύτιμες ποικιλίες στην αγορά. Η οικονομική ανάλυση αυτών των συστημάτων πυκνής φύτευσης έδειξε ότι παρά τον ουσιαστικό υψηλότερο επενδυτικό την εποχή της εγκατάστασης του οπωρώνα, αυτό αντισταθμίζεται με το γεγονός ότι το εισόδημα για τον παραγωγό ξεκινά από τον 2ο κιόλας χρόνο. Ακόμη το κέρδος για τον παραγωγό είναι μεγαλύτερο σε σχέση με τα παραδοσιακά συστήματα καλλιέργειας λόγω των σαφώς υψηλότερων αποδόσεων, του μειωμένου κόστους συγκομιδής λόγω νανισμού και του χαμηλότερου κόστους διαχείρισης του οπωρώνα. Σε τέτοια συστήματα έχουμε μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα των ψεκασμών λόγω της ομοιόμορφης κατανομής του ψεκαστικού υγρού καθώς και μειωμένο κόστος εργασιών για αραιώμα και κλάδεμα. Το σύστημα αυτό είναι ευρέως διαδεδομένο σε όλη την Ευρώπη, και στηρίζεται στην πολύ μεγάλη πυκνότητα δένδρων και στη χρήση ρυθμιστών ανάπτυξης κατά την βλαστική περίοδο. Ένα τέτοιο σύστημα καλλιέργειας έχει αρκετές προοπτικές και η εγκατάστασή του στον ελληνικό χώρο κρίνεται απαραίτητη τόσο για την αξιοποίηση της ελληνικής υπαίθρου όσο και την αύξηση του γεωργικού εισοδήματος.

Το πρόγραμμα ποτίσματος του οπωρώνα πρέπει να προσαρμόζεται ανάλογα με την τοποθεσία, τον τύπο του εδάφους και τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής. Για παράδειγμα τα αμμώδη εδάφη, που έχουν μικρότερη ικανότητα συγκρατήσεως του νερού, χρειάζονται πιο συχνά πότισμα συγκριτικά με τα βαριά αργιλώδη.

Αν κατά την περίοδο της άνθησης των δένδρων και αμέσως μετά την απάνθησή τους, τα εδαφικά αποθέματα σε νερό είναι ανεπαρκή για να καλύψουν τις ανάγκες των δένδρων, τότε το ποσοστό της καρπόδεσης τους είναι αρκετά μειωμένο. Η αύξηση του μεγέθους των καρπών της μηλιάς, η περιεκτικότητά τους σε σάκχαρα, ο χρωματισμός τους και η ποιότητά τους κατά τη συντήρηση επηρεάζονται ευνοϊκά από

την παροχή νερού κατά τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου, κυρίως δε από το Μάιο μέχρι τον Αύγουστο. Σε επίπεδα εδάφη το πότισμα μπορεί να γίνει με κατάκλιση, με διπλές κυκλικές λεκάνες, με αυλάκια και με τεχνητή βροχή. Σε πλαγιαστά όμως εδάφη ενδείκνυται η τεχνητή βροχή, λόγω καλύτερης διανομής του νερού.

Οι μεγάλες σοδειές επηρεάζουν την ποσότητα των μακροστοιχείων, ενώ έχουν μικρή επίδραση στα μικροστοιχεία. Ακόμα, οι κλιματικές συνθήκες και οι διάφορες καλλιεργητικές φροντίδες επηρεάζουν τις συγκεντρώσεις των διαφόρων θρεπτικών στοιχείων. Έτσι, η ανάλυση των φύλλων μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην μηλιά για να διαπιστώσουμε τη θρεπτική της κατάσταση, να διαγνώσουμε τυχόν τροφοπενία ή περίσσεια θρεπτικών στοιχείων και σε συνδυασμό με τις αναλύσεις εδάφους, τις καλλιεργητικές εργασίες και τις επικρατούσες καλλιεργητικές συνθήκες του μηλεώνα, να προγραμματίσουμε και καθορίσουμε τη λίπανση εκείνη που θα αποσκοπεί τελικά στην αύξηση της παραγωγικότητας της. Βάσει της ανάλυσης αυτής γίνονται κυρίως οι εφαρμογές ιχνοστοιχείων για διόρθωση τροφοπενιών.

Το χρώμα των φύλλων και η αύξηση της βλάστησης στα περισσότερα οπωροφόρα δένδρα αποτελούν περιορισμένης σημασίας Ν-δείκτες. Επομένως η ανάλυση φύλλων, κάθε χρόνο, αποτελεί αξιόπιστο δείκτη διατηρήσεως του αζώτου στο επιθυμητό επίπεδο. Όταν τα δέντρα παρουσιάσουν συμπτώματα τροφοπενίας αζώτου, τότε οι προστιθέμενες ποσότητες αζώτου πρέπει να αυξηθούν. Το άζωτο δίνεται είτε υπό 20 αμμωνιακή είτε υπό νιτρική μορφή. Συνήθως το άζωτο προστίθεται από τα τέλη του χειμώνα μέχρι τις αρχές του καλοκαιριού (1-3 δόσεις).

Η τροφοπενία καλίου μπορεί να θεραπευτεί με την προσθήκη θεικού καλίου. Η χορήγηση των καλιούχων λιπασμάτων γίνεται συνήθως σε μια δόση το χειμώνα με προσθήκη 250 kgf θεικού καλίου ανά στρέμμα, σε βάθος 15-20 cm σε μια ή δύο λωρίδες κατά μήκος της γραμμής φυτεύσεως των δέντρων. Γενικά στα οπωροφόρα δέντρα τροφοπενία φωσφόρου παρατηρείται πολύ σπάνια. Μπορεί όμως να εκδηλωθεί σε μηλιές που αναπτύσσονται σε εδάφη όπου η περιεκτικότητα τους σε διαθέσιμο φώσφορο είναι πολύ χαμηλή. Σε τέτοιες περιπτώσεις συστήνεται η επιφανειακή εφαρμογή P₂O₅, αν και καλύτερα αποτελέσματα λαμβάνονται με την ενσωμάτωση του λιπάσματος σε βάθος 15-20 cm κυκλικά στο δέντρο.

Η φωσφορική λίπανση γίνεται είτε με απλά υπερφωσφορικά ή με φωσφορική αμμωνία. Τροφοπενία μαγνησίου παρατηρείται κάπως σπάνια στη μηλιά. Αν εκδηλωθεί συνίστανται διαφυλλικοί ψεκασμοί, με διάλυμα νιτρικού μαγνησίου στα βαριά εδάφη, ή προσθήκη στο έδαφος δολοματικού ασβεστίου στα όξινα εδάφη.

Όσον αφορά τα μικροστοιχεία, αν διαπιστωθεί τροφοπενία συνήθως γίνονται διαφυλλικοί ψεκασμοί. Η τροφοπενία ψευδάργυρου στη μηλιά είναι μακροσκοπικά αναγνωρίσιμη με το σύμπτωμα σχηματισμού ροζέτας και θεραπεύεται με διαφυλλικούς ψεκασμούς, με διάλυμα θεικού ψευδαργύρου ή οξείδιο του ψευδάργυρου, κατά τη βλαστική περίοδο των δένδρων (άνοιξη ή φθινόπωρο). Η τροφοπενία μαγγανίου θεραπεύεται με διαφυλλικούς ψεκασμούς, με διάλυμα θεικού μαγγανίου κατά το μήνα Απρίλιο. Η τροφοπενία χαλκού θεραπεύεται με διαφυλλικούς ψεκασμούς με διάλυμα CuEDTA. Η τροφοπενία βορίου θεραπεύεται με διαφυλλικούς ψεκασμούς ή με την προσθήκη στο έδαφος βόρακα.

Μια άλλη καλλιεργητική πρακτική στη μηλιά είναι το αραίωμα των καρπών που αποσκοπεί στην αύξηση του μεγέθους των καρπών της, στην εξάλειψη της ανομοιομορφίας τους, στη βελτίωση της ποιότητας τους, στην εξασφάλιση επετειοφορίας στα δένδρα, στη διατήρηση της ζωνρότητας των δένδρων. Το αραίωμα των καρπών μπορεί να γίνει με τα χέρια, μετά την καρπόπτωση του Μαΐου, όταν οι καρποί αποκτήσουν το μέγεθος καρυδιού, με κλάδεμα κατά τη ληθαργική περίοδο και με χημικά μέσα. Όταν το αραίωμα γίνεται με τα χέρια συνήθως αφήνουμε έναν καρπό σε κάθε ταξικαρπία και σε απόσταση 15-20 cm τον έναν καρπό από τον άλλο, όμως δε συνιστάται, γιατί επιβαρύνει πάρα πολύ οικονομικά το κόστος παραγωγής. Το κλάδεμα εφαρμόζεται, όταν τα δένδρα έχουν σχηματίσει πολλούς καρποφόρους οφθαλμούς. Συνήθως το αραίωμα των καρπών γίνεται με το χέρι αν και στοιχίζει ακριβότερα από το χημικό. Σκοπός του κλαδέματος διαμόρφωσης των δένδρων είναι να κατευθύνουμε τη βλάστηση κατά τρόπο, που επιβάλλει το επιδιωκόμενο σχήμα διαμορφώσεως τους και η καλή δομή τους. Στη μηλοκαλλιέργεια τα πιο επικρατέστερα σχήματα διαμορφώσεως των δένδρων είναι ο αυτό της ελεύθερης παλμέτας και το ατρακτοειδές (Βασιλακάκης 2004) .

Με βάση τον τρόπο καρποφορίας της μηλιάς το κλάδεμα καρποφορίας πρέπει να αποσκοπεί στη διατήρηση του σχήματος των δένδρων, στη διατήρηση της λογχοειδούς βλάστησης σε καλή κατάσταση από πλευράς υγείας και ζωηρότητας, στην έκθεση του εσωτερικού μέρους της κόμης σε άφθονο φως και επαρκή αερισμό, στην εξασφάλιση μιας ικανοποιητικής παραγωγής και στη δημιουργία επαρκούς νέας βλάστησης. Δένδρα με ζωηρή ετήσια βλάστηση κλαδεύονται ελαφρά, ενώ εκείνα που έχουν αδύνατη βλάστηση, λόγω ελλείψεως νερού και κακής διατροφής ή υπερκαρποφορίας, κλαδεύονται αυστηρά. Το ελαφρό κλάδεμα συνίσταται αφ' ενός μεν σε μέτριο αραίωμα με ολοκληρωτική αφαίρεση βλαστών ή κοπής σε κάποιο πλάγιο βλαστό και αφ' ετέρου σε ελαφρά επιβράχυνση των βλαστών με μεγάλο μήκος, ενώ το αυστηρό κλάδεμα σε αυστηρότερο αραίωμα και αυστηρότερη επιβράχυνση της αδύνατης ετήσιας βλάστησης.

2.7.6 Συγκομιδή - Χρήσεις του καρπού - Συντήρηση

Τα μήλα πρέπει να συγκομίζονται στο κατάλληλο στάδιο της ωριμότητας τους. Όταν συγκομίζονται άγουρα, είναι υποβαθμισμένης ποιότητας, στερούνται γεύσεως, τείνουν να ζαρώνουν κατά τη συντήρηση, υπόκεινται σε αλλοιώσεις και μπορεί να στερούνται εμφανίσεως. Ο καθορισμός του κατάλληλου σταδίου ωριμότητας επιτυγχάνεται καλύτερα με συνδυασμό των κριτηρίων ωριμότητας των καρπών, παρά με το καθένα χωριστά.

Για τον καθορισμό του κατάλληλου βαθμού ωριμότητας των καρπών κατά τη συγκομιδή, χρησιμοποιούνται τα ακόλουθα κριτήρια ωριμότητας: το χρώμα των σπόρων, το μέγεθος καρπών, το χρώμα φλοιού, ο βαθμός συνεκτικότητας της σάρκας στην πίεση, ο αριθμός των ημερών από την πλήρη άνθηση, η απόσπαση του καρπού από το λογχοειδές, το ιωδιούχο τεστ αμύλου και η περιεκτικότητα σε διαλυτά στερεά. Ως ελάχιστη τιμή διαλυτών στερεών κατά τη συγκομιδή, για την επίτευξη καλύτερης ποιότητας, θεωρείται το ποσοστό 12%.

Η συγκομιδή των μήλων γίνεται με τα χέρια και οι καρποί τοποθετούνται σε κιβώτια ξύλινα ή πλαστικά. Στη συνέχεια οι καρποί μεταφέρονται στο συσκευαστήριο. Τα χρησιμοποιούμενα μέσα και ο τρόπος συσκευασίας καθορίζονται από τον προορισμό του προϊόντος για κατανάλωση σε αγορές του εσωτερικού ή εξωτερικού. Τα μήλα, που προορίζονται για την εσωτερική κατανάλωση,

συσκευάζονται σε ξύλινα τελάρα σε μια ή δύο στρώσεις. Αν τα μήλα προορίζονται για εξαγωγή, τότε συσκευάζονται σε ειδικά χάρτινα κιβώτια, που φέρουν εσωτερικά, κατά στρώσεις, χάρτινες υποδοχές για κάθε καρπό.

Τα μήλα, όταν συγκομίζονται στο κατάλληλο στάδιο ωριμότητας τους, μπορεί να συντηρηθούν αρκετούς μήνες, αν αποθηκευτούν σε ψυκτικούς χώρους αμέσως μετά τη συγκομιδή σε θερμοκρασία 0°C και σχετική υγρασία 90% και κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες (CO₂ 0.3-3%, O₂ 1-3%, θερμοκρασία -0.5-0°C) διατηρούνται μεγαλύτερο χρονικό διάστημα (Βασιλακάκης, 2004).

Η μηλιά είναι δέντρο με πάρα πολλές φαρμακευτικές ιδιότητες. Οι καρποί της είναι πλούσιοι σε βιταμίνες, σάκχαρα και ένζυμα απαραίτητα για την ισορροπία του σώματος. Η φλούδα του φρούτου περιέχει τις περισσότερες από τις ουσίες του. Ο φλοιός του φυτού είναι τονωτικός και αντιπυρετικός. Τα φύλλα και τα λουλούδια του είναι καλά σαν διουρητικά και χρησιμοποιούνται ακόμη για περιπτώσεις ουρόλιθων ή ασθενειών της κύστης.

2.7.7 Παραγωγικότητα

Η παραγωγικότητα των οπωρώνων μηλιάς εξαρτάται από πολλούς παράγοντες που σχετίζονται με την ποικιλία, το υποκείμενο, το έδαφος, τη λίπανση, την άρδευση, το κλάδεμα, τους ψεκασμούς και άλλους παράγοντες. Η έναρξη της καρποφορίας καθώς και η είσοδος του δέντρου σε πλήρη καρποφορία εξαρτάται βασικά από το υποκείμενο και την ποικιλία αν όλοι οι άλλοι παράγοντες είναι ευνοϊκοί. Γενικά, η μηλιά εισέρχεται σε αξιόλογη καρποφορία από το 2ο-6ο χρόνο της ηλικίας της ανάλογα με την ποικιλία και το υποκείμενο. Τα νάνα κλωνικά υποκείμενα, τα οποία εγκαθίστανται με το σύστημα της πυκνής φύτευσης, όπως αυτά που χρησιμοποιήθηκαν στους πιλοτικούς αγρούς, επιταχύνουν την είσοδο των δένδρων σε καρποφορία, η οποία γίνεται το 2ο-3ο χρόνο. Επιπλέον ενώ σε μηλιές επί σποροφύτου η παραγωγικότητα αυξάνεται μέχρι το 20ο χρόνο, σε μηλεώνες με νάνα κλωνικά υποκείμενα η μέγιστη απόδοση επιτυγχάνεται πολύ νωρίτερα, τον 6ο-8ο χρόνο από την εγκατάσταση.

Γενικά η πυκνή φύτευση νάνων υποκειμένων έχει υψηλό κόστος εγκατάστασης της καλλιέργειας, η ταχεία όμως είσοδος στη καρποφορία οδηγεί γρήγορα στην απόσβεση του κεφαλαίου που χρησιμοποιήθηκε. Επιπλέον, η μηχανοποίηση της καλλιέργειας εξασφαλίζει χαμηλό κόστος παραγωγής. Ενώ, η σχετικά βραχεία παραγωγική ζωή της φυτείας παρέχει τη δυνατότητα στον παραγωγό αλλαγής της καλλιέργειας σχετικά γρήγορα.

3 Υλικά και μέθοδοι

3.1 Περιγραφή πειράματος

Ο πειραματικός οπωρώνας έχει έκταση 1 εκτάριο και βρίσκεται στην περιοχή του Αετόλοφου κοντά στην Αγία Λάρισας (Εικόνα 3.1-1). Βόρεια και ανατολικά του χωραφιού υπάρχει ένα χωράφι που καλλιεργείται με καλαμπόκι, δυτικά του χωραφιού υπάρχει ένας άλλος οπωρώνας μήλων και νότια εκτείνεται μια ορεινή περιοχή με μη καλλιεργούμενα φυτά. Το υψόμετρο της περιοχής όπου είναι εγκατεστημένος ο οπωρώνας παρουσιάζει ανομοιομορφία με υψηλότερο σημείο στη νότια περιοχή και χαμηλότερο στα βόρεια ανατολικά του οπωρώνα. Η κύρια ποικιλία του οπωρώνα είναι η Fuji και η επικονιάστρια ποικιλία η Red Chef. Οι αποστάσεις φύτευσης είναι πολύ μικρές τόσο πάνω στην γραμμή φύτευσης (0.6 μέτρα) όσο και μεταξύ των γραμμών (3.5 μέτρα).



Εικόνα 3.1-1. Ο πειραματικός οπωρώνας από φωτογραφία στο Google maps.

Για την συγκεκριμένη χρονιά έγιναν μια σειρά από μετρήσεις όπως:

- Χαρτογράφηση του ανάγλυφου της περιοχής.
- Χαρτογράφηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους με τον αισθητήρα EM38.
- Δειγματοληψία εδάφους για περαιτέρω ανάλυση των εδαφικών ιδιοτήτων.
- Μέτρηση της ευρωστίας των φυτών με τον αισθητήρα CropCircle και εξαγωγή διαφόρων δεικτών βλάστησης (NDVI).
- Μετρήσεις ανθέων με πολυφασματική κάμερα και απλή φωτογραφική μηχανή.
- Χαρτογράφηση της παραγωγής
- Χαρτογράφηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των παραγόμενων προϊόντων.

3.2 Μετρήσεις

3.2.1 Χαρτογράφηση τοπογραφικού ανάγλυφου

Η τοπογραφία ενός οπωρώνα είναι σημαντικός παράγοντας της παραγωγικότητάς του. Έχει παρατηρηθεί ότι σε οπωρώνες με πολύ μεγάλη κλίση εδάφους η υποβάθμιση του εδάφους είναι υπαρκτή. Η υποβάθμιση του εδάφους προέρχεται από την έκπλυση των θρεπτικών στοιχείων του εδάφους από τα υψηλότερα σημεία του οπωρώνα στα κατώτερα. Αποτέλεσμα της έκπλυσης είναι η αλλαγή της φυσιολογίας του εδάφους. Όσο πιο μεγάλη είναι η κλίση του εδάφους τόσο πιο γρήγορα πραγματοποιείται η υποβάθμιση.

Από τα παραπάνω κρίνεται αναγκαία η μελέτη του τοπογραφικού ανάγλυφου του οπωρώνα που εξετάζουμε. Για την χαρτογράφηση του υψομέτρου χρησιμοποιήθηκε το σύστημα RTK-GPS (Real Time Kinematic, Ag-GPS 252) της εταιρίας Trimble. Αποτελείται από έναν επίγειο σταθμό διόρθωσης σήματος ο οποίος λαμβάνει διορθωτικό σήμα από τους δορυφόρους και μια κεραία GPS η οποία επικοινωνεί με τον σταθμό βάσης. Ο επίγειος σταθμός φέρει τρίποδα και εγκαθίσταται στο υψηλότερο σημείο του αγρού για να υπάρχει οπτική επαφή με την δεύτερη κεραία GPS η οποία συνδέεται με υπολογιστή για την καταγραφή-αποθήκευση των δεδομένων και εγκαθίσταται πάνω σε όχημα το οποίο θα κάνει τη διαδρομή εντός του αγρού. Συνοπτικά, με το συγκεκριμένο σύστημα RTK επιτυγχάνεται ο καθορισμός της θέσης του επίγειου σταθμού, την λήψη του διορθωτικού σήματος από τον επίγειο σταθμό, τον υπολογισμό της θέσης και άλλων παραμέτρων της κινούμενης κεραίας έχοντας σαν σημείο αναφοράς τον επίγειο σταθμό. Με αυτή τη διαδικασία η ακρίβεια του σήματος και των υπόλοιπων παραμέτρων που μελετώνται είναι περίπου 1 εκατοστό.

Κατά τη διάρκεια της χαρτογράφησης του τοπογραφικού ανάγλυφου του πειραματικού οπωρώνα η κινητή κεραία GPS τοποθετήθηκε πάνω σε ένα αυτοσχέδιο καροτσάκι στο οποίο είχε εγκατασταθεί προηγουμένως ένας υπολογιστής για την καταγραφή και αποθήκευση των δεδομένων καθώς επίσης και ένα τροφοδοτικό (UPS) για την παροχή του ρεύματος των ηλεκτρονικών συσκευών. Παράλληλα, ο επίγειος σταθμός διόρθωσης σήματος τοποθετήθηκε στην νότια πλευρά του οπωρώνα. Κατά τη διάρκεια της καταγραφής του ανάγλυφου το καροτσάκι με όλο τον εξοπλισμό έκανε περάσματα ανά δύο γραμμές εντός του οπωρώνα.

Στη συνέχεια έγινε εξαγωγή και επεξεργασία των δεδομένων σε λογισμικό GIS και ολοκληρώθηκε η διαδικασία χαρτογράφησης του υψομέτρου.

3.2.2 Ηλεκτρική αγωγιμότητα

Όπως ήδη προαναφέρθηκε η μελέτη της ηλεκτρικής αγωγιμότητας μπορεί να αναδείξει αρκετές μεταβλητές του εδάφους για παράδειγμα μηχανική σύσταση, οργανική ουσία και εδαφική αλατότητα. Αυτό καθιστά πολύ σημαντική την χαρτογράφησης της καθώς η ποιότητα και η ανάπτυξη των φυτών εξαρτώνται από αυτούς τους παράγοντες. Για την μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στον πειραματικό οπωρώνα χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της επαγωγής. Η μέτρηση πραγματοποιήθηκε τον Φεβρουάριο του 2010. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε ο αισθητήρας EM38 της εταιρίας (Geonics) ο οποίος συνδέεται με έναν υπολογιστή καταγραφής δεδομένων. Ακόμη για την καταγραφή των συντεταγμένων των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε μια φορητή κεραία GPS η οποία είχε την δυνατότητα να συνδεθεί με τον υπολογιστή από απόσταση, χωρίς καλώδιο, μέσω τεχνολογίας bluetooth. Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων ο αισθητήρας κρατιόνταν στο χέρι σε ελάχιστη απόσταση πάνω από την επιφάνεια του εδάφους και η διαδρομή που καταγράφηκε ήταν όλο το χωράφι αν δύο σειρές.

3.2.3 Δειγματοληψία εδάφους

Το έδαφος είναι το μέσο πάνω στο οποίο αναπτύσσονται τα φυτά. Αναμφίβολα η ιδιότητες του εδάφους παίζουν σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη των φυτών, στην τελική παραγωγή και στην ποιότητα των συγκομιζόμενων προϊόντων. Όπως προαναφέρθηκε μια μέθοδος εκτίμησης των ιδιοτήτων του εδάφους είναι η ηλεκτρική αγωγιμότητα καθώς δείχνει έμμεσα την μηχανική σύσταση, την οργανική ουσία και την αλατότητα.

Για τις ανάγκες της παρούσας έρευνας κρίθηκε αναγκαία η περαιτέρω ανάλυση των ιδιοτήτων του εδάφους την καλύτερη κατανόηση της παραλλακτικότητας που εμφανίζει το έδαφος αλλά και για την πιστότερη εφαρμογή της γεωργίας ακριβείας στον οπωρώνα. Η δειγματοληψία του εδάφους έγινε τον Φεβρουάριο σε πλέγμα σε βάθος από την επιφάνεια του εδάφους μέχρι τα 30 εκατοστά. Σε κάθε κελί του πλέγματος έγινε δειγματοληψία εδάφους από 4 διαφορετικά σημεία. Στη συνέχεια τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε πλαστικές σακούλες και αναμείχθηκαν για να δημιουργηθεί ένα ομοιογενές δείγμα. Τέλος έγιναν οι παρακάτω αναλύσεις των

δειγμάτων σε εδαφολογικό εργαστήριο: μηχανική σύσταση του εδάφους, οργανική ουσία, ασβέστιο και κάλιο.

Προσδιορισμός της μηχανικής σύστασης του εδάφους

Για τον προσδιορισμό της κοκκομετρικής σύστασης του εδάφους ή της μηχανικής σύστασης του εδάφους όπως αλλιώς λέγεται, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Βουγιούκου. Η μέθοδος αυτή αποτελεί εφαρμογή του νόμου του Stokes μέσω του οποίου υπολογίζεται η ταχύτητα με την οποία πέφτουν τα σωματίδια της λεπτής γης σε ένα ιξώδες υγρό.

Για τον προσδιορισμό των κλασμάτων της μηχανικής σύστασης του εδάφους χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω υλικά και όργανα

- Ζυγός ακριβείας 0,0001g
- Ηλεκτρικός αναδευτήρας (μίξερ) πολύστροφο
- Φιάλες ανακινήσεως 300
- Γυάλινοι κύλινδροι ύψους 47 cm και εσωτερικής διαμέτρου 6,5 cm με χαραγή στα 1000 ml και στα 1130 ml
- Ογκομετρικοί κύλινδροι των 50 ml και 250 ml
- Πυκνόμετρο Βουγιούκου
- Μεταλλική ράβδος ανατάραξης χειρός του δείγματος εντός του κυλίνδρου
- Θερμόμετρο υδραργύρου
- Χρονόμετρο

Επίσης γίνεται χρήση των παρακάτω αντιδραστηρίων

- Μεταφωσφορικό νάτριο (Na_3PO_3 1%)

Η διαδικασία εκτέλεσης του προσδιορισμού της κοκκομετρικής σύστασης του εδάφους έχει ως εξής:

Ζυγίζονται 50 γραμμάρια αεροξηραθέντος εδάφους και τοποθετούνται στο δοχείο ανακίνησης. Σε αυτό προσθέτουμε 50ml μεταφωσφορικό νάτριο (Na_3PO_3 1%) και 150 ml απιονισμένου νερού. Τοποθετούμε το δοχείο στην συσκευή ανακίνησης για 5 λεπτά της ώρας. Κατόπιν μεταφέρουμε το εδαφικό αιώρημα σε κύλινδρο Βουγιούκου και συμπληρώνουμε με απιονισμένο νερό μέχρι την χαραγή του (1130ml), αφού έχουμε τοποθετήσει εντός του κυλίνδρου το πυκνόμετρο Βουγιούκου. Κατόπιν

απομακρύνουμε το πυκνόμετρο και με την μεταλλική ράβδο ανακίνησης αναταράσσουμε το εδαφικό αιώρημα 10 με 15 φορές. Η πρώτη μέτρηση λαμβάνεται 40 δευτερόλεπτα μετά το τέλος της ανατάραξης με το πυκνόμετρο Βουγιούκου (ένδειξη Α). Αμέσως μετά με το θερμόμετρο λαμβάνουμε και την ένδειξη της θερμοκρασίας (Δ_1) στο αιώρημα. Μετά την πάροδο 2 ωρών λαμβάνουμε πάλι ένδειξη με το πυκνόμετρο και με το θερμόμετρο (ένδειξη Β και Δ_2 αντίστοιχα).

Για τον προσδιορισμό της περιεκτικότητας του εδάφους σε άμμο, ιλύ, άργιλο χρησιμοποιούνται οι παρακάτω μαθηματικές εξισώσεις.

$$\text{Άμμος (\%)} = 100 - 2(A + \Delta_1)$$

$$\text{Άργιλος (\%)} = 100 - 2(B + \Delta_2)$$

$$\text{Ιλύς (\%)} = 100 - \text{Άμμος (\%)} - \text{Άργιλος (\%)}$$

Όπου Δ_1 και Δ_2 είναι οι συντελεστές διόρθωσης της θερμοκρασίας και οι οποίοι δύνανται να λαμβάνουν και αρνητικές τιμές.

Η οργανική ουσία μετρήθηκε με τη μέθοδο Walkley -Black. Σε 1γρ εδάφους προστέθηκαν 10ml διαλύματος $K_2Cr_2O_7$ (1N) με την προχοΐδα και έγινε ανάδευση, για να αναμιχθεί το αντιδραστήριο με το έδαφος. Στην συνέχεια προστέθηκε ταχέως και σε συνεχή ροή 20ml πυκνού H_2SO_4 με ογκομετρικό κύλινδρο. Έγινε ανάδευση εκ νέου για 30-60'' με προσοχή. Αφέθηκε το διάλυμα σε ηρεμία για 30 λεπτά. Στην συνέχεια προστέθηκαν 200 ml απιονισμένου νερού και 10ml H_3PO_4 στο διάλυμα και αφέθηκε να ψυχθεί για 5 λεπτά. Μετά την ψύξη προστέθηκε δείκτης οργανικής ουσίας και τιτλοδοτήθηκε η περίσσεια $K_2Cr_2O_7$ με δισθενή θειικό σίδηρο (0,5N). Στο σημείο εξουδετέρωσης το χρώμα μεταβάλλεται απότομα σε πράσινο αφού γίνει σκούρο μοβ πρώτα.

Για τη μέτρηση της περιεκτικότητας του εδάφους σε ασβέστιο και κάλιο τα δείγματα στάλθηκαν σε εδαφολογικό εργαστήριο.

3.2.4 Μέτρηση ευρωστίας των φυτών

Η ευρωστία των φυτών είναι ένας σημαντικός παράγοντας στη γεωργία ακριβείας καθώς μας δείχνει την κατάσταση των φυτών. Βασίζόμενοι σε αυτή την κατάσταση οι παραγωγοί καλούνται να λάβουν αποφάσεις τόσο για τον τρόπο ποτίσματος κάθε

χρονιά όσο και για την ποσότητα του λιπάσματος που θα χρησιμοποιήσουν. Η ευρωστία των φυτών μετράται με διάφορους δείκτες βλάστησης.

Ο πιο αντιπροσωπευτικός δείκτης βλάστησης είναι ο NDVI. Στη συγκεκριμένη εργασία έγιναν 6 μετρήσεις NDVI με τον αισθητήρα CropCircle. Ο συγκεκριμένος αισθητήρας χρησιμοποιεί δικιά του πηγή για να προσομοιάσει το φώς του ήλιου ενώ καταγράφει την ανακλώμενη ακτινοβολία από την προς μελέτη επιφάνεια. Η καταγραφή των δεδομένων γίνεται σε δύο φάσματα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, στο κόκκινο και στο υπέρυθρο. Με αυτόν τον τρόπο καθίσταται εύκολος ο προσδιορισμός του δείκτη NDVI μιας και υπολογίζεται από τον τύπο:

$$NDVI = (NIR-RED)/(NIR+RED)$$

Όπου:

NIR: είναι η αντανάκλαση του φωτός από ένα αντικείμενο σε μήκη κύματος κοντά στο υπέρυθρο

RED: είναι η αντανάκλαση του φωτός από ένα αντικείμενο σε μήκη κύματος που αντιστοιχούν στο κόκκινο φάσμα

Εξαιτίας της ανομοιόμορφης ανάπτυξης της κόμης των δέντρων (τα πάνω φύλλα είναι τα νέα και τα κάτω τα παλιά) έγιναν 3 μετρήσεις κάθε φορά σε διαφορετικά ύψη. Σημαντικό είναι το γεγονός ότι τα δέντρα του πειραματικού οπωρώνα έφταναν τα 4 μέτρα.

1^η: 30 εκατοστά από το έδαφος (κάτω κόμη-μέτρηση από το πλάι)

2^η: 250 εκατοστά από το έδαφος (μέση κόμη-μέτρηση από το πλάι)

3^η: 480 εκατοστά από το έδαφος (80 εκατοστά πάνω από την κόμη των δένδρων-μέτρηση από πάνω)

Κατά την διάρκεια των μετρήσεων της κάτω και μέσης κόμης ο αισθητήρας CropCircle κρατιόνταν στο χέρι ενώ για την μέτρηση της άνω κόμης χρησιμοποιούνταν μια αλουμινένια ράβδος μήκους 5 μέτρων στην οποία τοποθετούνταν ο αισθητήρας. Η επιλογή της συγκεκριμένης ράβδου έγινε με βάση το βάρος, τα ποσοστά ακαμψίας της μιας και το βάρος του αισθητήρα σε ύψος 5 μέτρων δημιουργεί μεγάλες ροπές. Σε όλες τις μετρήσεις χρησιμοποιούνταν κεραία GPS της

εταιρίας Garmin η οποία προσαρμόζονταν επάνω στον αισθητήρα CropCircle. Τα δεδομένα του αισθητήρα και οι συντεταγμένες των σημείων μέτρησης στέλνονταν και αποθηκεύονταν σε έναν μικρό φορητό υπολογιστή.

3.2.5 Μετρήσεις ανθέων με πολυφασματική κάμερα και απλή φωτογραφική μηχανή

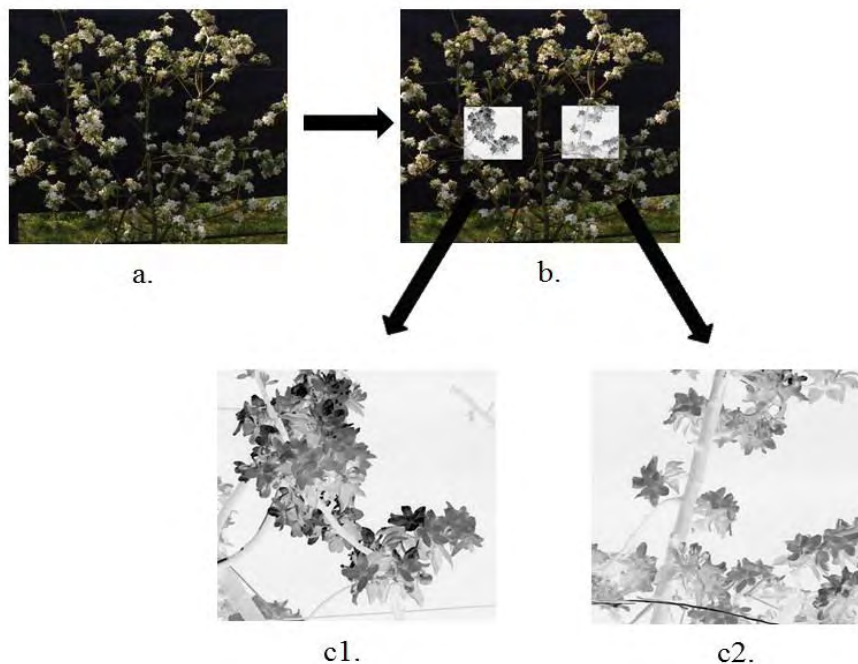
Σκοπός αυτού του μέρους της έρευνας ήταν να δοκιμαστούν διάφοροι τρόποι αναγνώρισης των ανθέων των δέντρων μηλιάς και να αποδειχθεί αν ο αριθμός των ανθέων επηρεάζει την τελική παραγωγή των δέντρων.

Η μέτρηση των ανθέων έγινε κατά την διάρκεια της 3^{ης} εβδομάδας του Απριλίου του 2010. Δύο συσκευές λήψης φωτογραφιών χρησιμοποιήθηκαν. Μια πολυφασματική φωτογραφική μηχανή (Quest Innovations, the Netherlands) η οποία κατέγραφε τα δεδομένα σε 4 κανάλια. Τα πρώτα δύο κανάλια κατέγραφαν σε μήκη κύματος τα οποία ανήκουν στο ορατό φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και τα άλλα δύο στο κοντινό υπέρυθρο. Για κάθε πέντε δέντρα επί της γραμμής επιλέγονταν ένα δέντρο για την ανάλυση. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι λόγω της πυκνότητας των δέντρων δεν μπορούσαν τα δέντρα να απομονωθούν εξ ολοκλήρου. Τα επιλεγμένα δέντρα για την ανάλυση φωτογραφίζονταν σε 2 μέρη – δεξιά και αριστερά του κορμού σε ύψος 1.2m από το έδαφος. Η περιοχή που φωτογραφίζονταν κάθε φορά είχε διαστάσεις 300mm x 300mm. Η δεύτερη φωτογραφική μηχανή που χρησιμοποιήθηκε ήταν μια Olympus E – 420 ανάλυσης 10 megapixels. Σε κάθε μια από τις δύο μεθόδους χρησιμοποιήθηκε ένα μαύρο πανί για φόντο (Εικόνα 3.2.5-1).



Εικόνα 3.2.5-1. Φωτογραφία που δείχνει τα άνθη και το μαύρο πανί.

Για την ανάλυση των RGB φωτογραφιών χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα GIMP 2.6.8. Τα χρώματα των εικόνων άλλαξαν σε γκριζο τόνο με την λειτουργία του αποκορεσμού η οποία επιτρέπει τον χρήστη να δίνει γκριζα απόχρωση στα χρώματα της εικόνας. Στη συνέχεια κάθε εικονοστοιχείο πήρε μια τιμή ανάλογα με την ακτινοβολία η οποία ανακλάται χρησιμοποιώντας τη λειτουργία της αντίστροφης τιμής. Με αυτή την λειτουργία η εικόνα παρουσιάζεται σαν να είναι με αρνητικά χρώματα (Εικόνα 3.2.5-2). Για την εξοικείωση με τη μέθοδο της ανάλυσης επιλέχτηκαν τυχαία είκοσι φωτογραφίες οι οποίες απέδειξαν ότι τα εικονοστοιχεία που αντιπροσωπεύουν τα άνθη είχαν τιμές μεταξύ μηδέν και εκατό. Τέλος με τη χρήση της λειτουργίας πληροφορίες του συστήματος προσδιορίστηκε το ποσοστό των εικονοστοιχείων που είχαν τιμές στο εύρος τιμών από μηδέν μέχρι εκατό.



Εικόνα 3.2.5-2. a) πριν από την ανάλυση εικόνας, b) μετά την εκτέλεση της περιγραφόμενης διαδικασίας της ανάλυσης εικόνας, c1) και c2) τα αποτελέσματα της ανάλυσης της εικόνας.

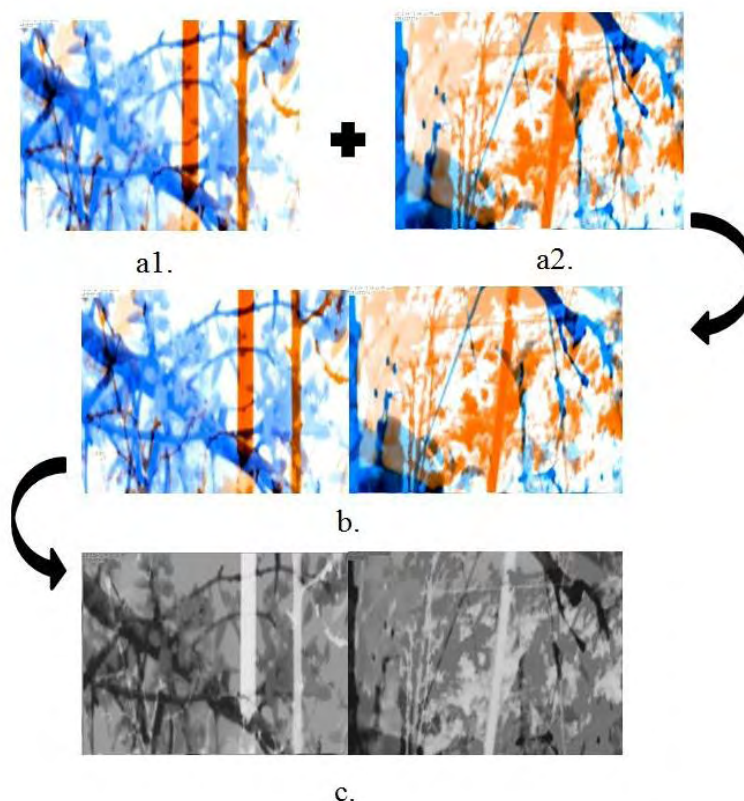
Η κύρια ιδέα της χρήσης της πολυφασματικής φωτογραφικής μηχανής ήταν να απομονώσουμε ακριβέστερα τα άνθη από τα άλλα αντικείμενα σε μια εικόνα χρησιμοποιώντας τις ιδιότητες της επιφάνειας τους και την αντανάκλαση του φωτός. Η αντανάκλαση λαμβάνεται από την πολυφασματική φωτογραφική μηχανή υπολογίζοντας τον δείκτη NDVI.

Στη συγκεκριμένη έρευνα, για την ανάλυση των φωτογραφιών, χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα ENVI 4.7. Το πρόγραμμα αυτό επιτρέπει τον χρήστη να κάνει φασματική ανάλυση των εικόνων. Αρχικά, για την εξάσκηση της ανάλυσης επιλέχτηκαν τυχαία 20 φωτογραφίες για να υπολογιστούν οι τιμές του NDVI. Για τον υπολογισμό του NDVI χρησιμοποιήθηκε η λειτουργία μετατροπή η οποία συνδέεται με έναν αλγόριθμο ο οποίος βασίζεται στην κύρια εξίσωση υπολογισμού του NDVI. Επειδή το 3^ο και το 2^ο κανάλι της πολυφασματικής φωτογραφικής μηχανής καταγράφει τα δεδομένα στο κοντινό υπέρυθρο και το κόκκινο αντίστοιχα η εξίσωση η οποία χρησιμοποιήθηκε ήταν η:

$$NDVI = (Band3 - Band2) / (Band3 + Band2)$$

Όπου: 3 και 2 είναι οι τιμές από κάθε εικονοστοιχείο στο κοντινό υπέρυθρο και κόκκινο αντίστοιχα.

Από τις επιλεγμένες φωτογραφίες, υπολογίστηκε ότι η τιμή του NDVI των ανθέων να είναι μεταξύ 0.002 και 0.004 (Εικόνα 3.2.6-1). Βασιζόμενοι σε αυτό το γεγονός κατά την ανάλυση των εικόνων για κάθε εικόνα ξεχωριστά υπολογίστηκε ο αριθμός των εικονοστοιχείων που είχαν τιμές NDVI μεταξύ 0.002 και 0.004. Με αυτό τον τρόπο υπολογίστηκαν τα άνθη τα οποία συσχετίστηκαν με την τελική παραγωγή.



Εικόνα 3.2.6-1. a1) και a2) εικόνες όπως εμφανίζονται από τη πολυφασματική κάμερα, b) δύο εικόνες ενωμένες, c) τελική εικόνα που περιέχει τις τιμές NDVI.

3.2.6 Μέτρηση ποιοτικών χαρακτηριστικών του καρπού

Στην καλλιέργεια μήλων εκτός από το ύψος της παραγωγής οι παραγωγοί ενδιαφέρονται και για την ποιότητα των καρπών αφού αυτή είναι που θα αυξήσει ή θα μειώσει την τιμή πώλησης των προϊόντων.

Στη συγκεκριμένη έρευνα αφού πρώτα ο οπωρώνας χωρίστηκε σε πλέγμα 10x10 έγινε η δειγματοληψία των μήλων με το χέρι στο στάδιο της ωρίμανσης μια μέρα πριν την συγκομιδή. Η ανάλυση που επιδέχτηκαν τα δείγματα στο εργαστήριο αφορούσαν κυρίως το pH του χυμού των μήλων, τα ολικά διαλυτά στερεά μετρημένα σε brix, την οξύτητα του χυμού, την σκληρότητα της σάρκας.

Για την μέτρηση του pH χρησιμοποιήθηκε ένα πεχάμετρο του εμπορίου, και για την σκληρότητα της σάρκας ένα ηλεκτρονικό πενετρόμετρο. Συγκεκριμένα σε αυτό το στάδιο ο καρπός τοποθετούνταν κάτω από μια συσκευή στην οποία ασκούσαν δύναμη η οποία εμφανίζονταν σε μια οθόνη. Για την μέτρηση των ολικών διαλυτών

στερεών χρησιμοποιήθηκε μια συσκευή μέτρησης brix το διαθλασίμετρο ενώ για την οξύτητα (% μηλικό οξύ) έγινε τιτλοδότηση του χυμού με NaOH. Τέλος μετρήσαμε το βάρος των καρπών με ηλεκτρονική ζυγαριά.

3.2.7 Συγκομιδή - Παραγωγή

Το πιο σημαντικό για τον παραγωγό είναι το ύψος παραγωγής της καλλιέργειάς του αφού αυτό είναι που θα τον δώσει το κέρδος. Σε κάθε οπωρώνα κάθε δένδρο παράγει διαφορετικές ποσότητες φρούτων. Αυτή η παραλλακτικότητα της παραγωγής οφείλεται στην παραλλακτικότητα του γενετικού υλικού καθώς και στην παραλλακτικότητα των διαφόρων ιδιοτήτων του οπωρώνα (εδαφικών, τοπογραφικών, κλιματολογικών). Σκοπός της χαρτογράφησης της παραγωγής είναι να μελετηθεί η παραλλακτικότητα της παραγωγής κατά μήκος των γραμμών φύτευσης. Η χαρτογράφηση της παραγωγής έγινε τον Οκτώβριο κατά την περίοδο της συγκομιδής των μήλων.

Η συγκομιδή των μήλων έγινε με το χέρι. Τα μήλα τοποθετούνταν σε πλαστικά τελάρα τα οποία βρίσκονταν κατά μήκος των σειρών (Εικόνα 3.2.7-1).



Εικόνα 3.2.7-1.

Οι εργάτες γέμιζαν μέχρι επάνω τα τελάρα με μήλα καθώς αυτοί κινούνταν παράλληλα στις σειρές καθώς ήταν αδύνατο να μετρηθεί η παραγωγή κάθε δέντρου (Εικόνες 3.2.7-2) . Πριν τη συγκομιδή κάθε σειρά χωρίστηκε σε τμήματα των 10m. Όλα τα τελάρα από κάθε τμήμα των 10m τοποθετούνταν μαζί και ζυγίζονταν για να υπολογιστεί η παραγωγή μήλων ανά 10m επί της σειράς για να γίνει η χαρτογράφηση της παραγωγής. Η γεωγραφική θέση του μεσαίου δέντρου των τμημάτων των 10m καταγράφονταν με μια συσκευή GPS (Garmin Etrex Legend H).



Εικόνες 3.2.7-2.

4 Αποτελέσματα-Συζήτηση

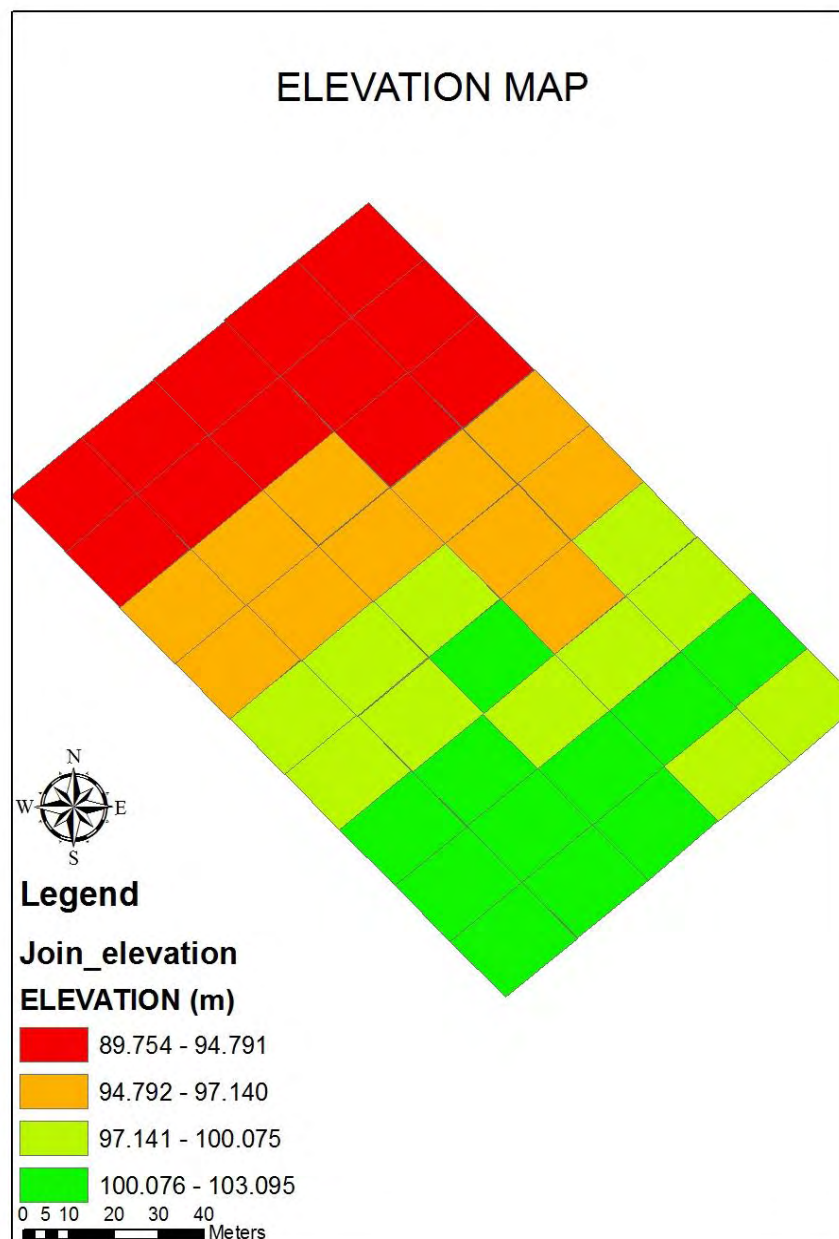
Σε ένα σύστημα Γεωργίας Ακρίβειας οι διάφορες πληροφορίες που αφορούν στον αγρό, αντιπροσωπεύονται από αριθμούς οι οποίοι περιγράφουν μετρήσεις κάποιων παραμέτρων. Οι πληροφορίες αυτές με τη βοήθεια του GPS, συνοδεύονται με το γεωγραφικό στίγμα των αντίστοιχων σημείων του αγρού όπου αναφέρονται. Κατά τη δημιουργία ψηφιακών χαρτών μεγάλης ακρίβειας, ο όγκος των πληροφοριών είναι τεράστιος, έτσι ώστε η χρήση κάποιου λογισμικού για την επεξεργασία τους, είναι απαραίτητη.

Το Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών είναι ένα λογισμικό με τη βοήθεια του οποίου οι πληροφορίες οργανώνονται, αναλύονται και επεξεργάζονται. Οι πληροφορίες σε ένα GIS απεικονίζονται πάντοτε ως ψηφιακοί χάρτες του υπό εξέταση αγρού γιατί όλες οι πληροφορίες είναι προσδιορισμένες στο χώρο με τη βοήθεια του GPS.

Μετά το πέρας των μετρήσεων στον οπωρώνα τα δεδομένα τοποθετήθηκαν στο πρόγραμμα ArcMap για να γίνει η χωρική ανάλυση των δεδομένων και η δημιουργία χαρτών. Το ArcMap είναι το κύριο συστατικό του λογισμικού ArcGis, και χρησιμοποιείται για την προβολή, επεξεργασία, δημιουργία, και ανάλυση γεωχωρικών δεδομένων. Η μέθοδος ταξινόμησης των δεδομένων έγινε με βάση τη στατιστική μέθοδο των Quantiles στην οποία τα δεδομένα χωρίζονται σε ομάδες με τον ίδιο αριθμό δεδομένων.

4.1 Χαρτογράφηση ανάγλυφου

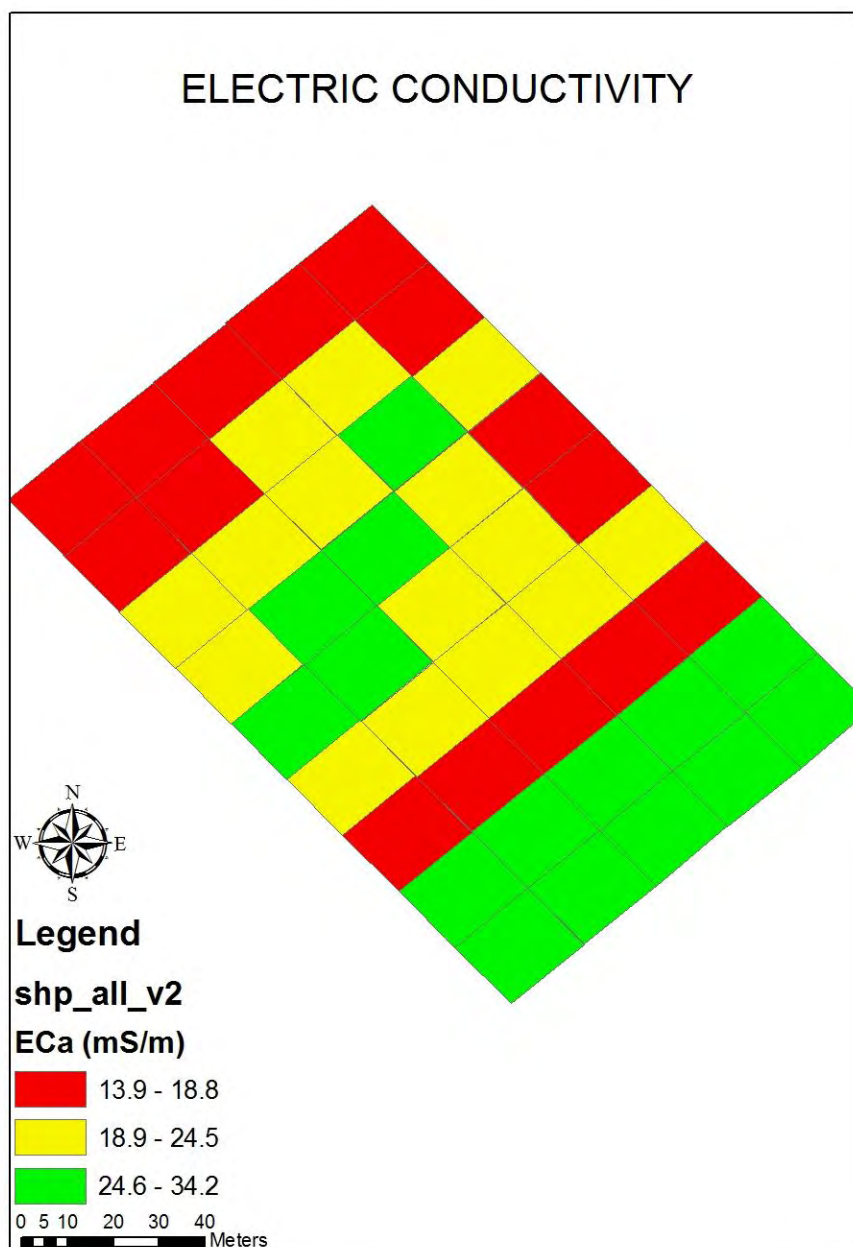
Η τοποθεσία του οπωρώνα βρίσκεται στην πλαγιά ενός λόφου. Αυτό φαίνεται και από τον χάρτη (Σχήμα 4.1-1) σύμφωνα με τον οποίο το χαμηλότερο σημείο του οπωρώνα είναι 91 μέτρα και το υψηλότερο 104 μέτρα. Σημαντική είναι και η κλίση του εδάφους η οποία στο νότιο τμήμα του οπωρώνα φτάνει και τις 9 μοίρες ενώ στο βορειότερο τμήμα η κλίση του εδάφους είναι 3 μοίρες.



Σχήμα 4.1-1. Παραλλακτικότητα τοπογραφικού ανάγλυφου.

4.2 Χαρτογράφηση ηλεκτρικής αγωγιμότητας

Η μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας έγινε μια φορά. Τρεις ημέρες πριν την μέτρηση είχε βρέξει. Η επιλογή της ημέρας δεν έγινε τυχαία καθώς για την μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας είναι αναγκαία η ύπαρξη υγρασίας στο έδαφος. Τα δεδομένα αναλύθηκαν στο πρόγραμμα ArcMap (Σχήμα 4.2-1).



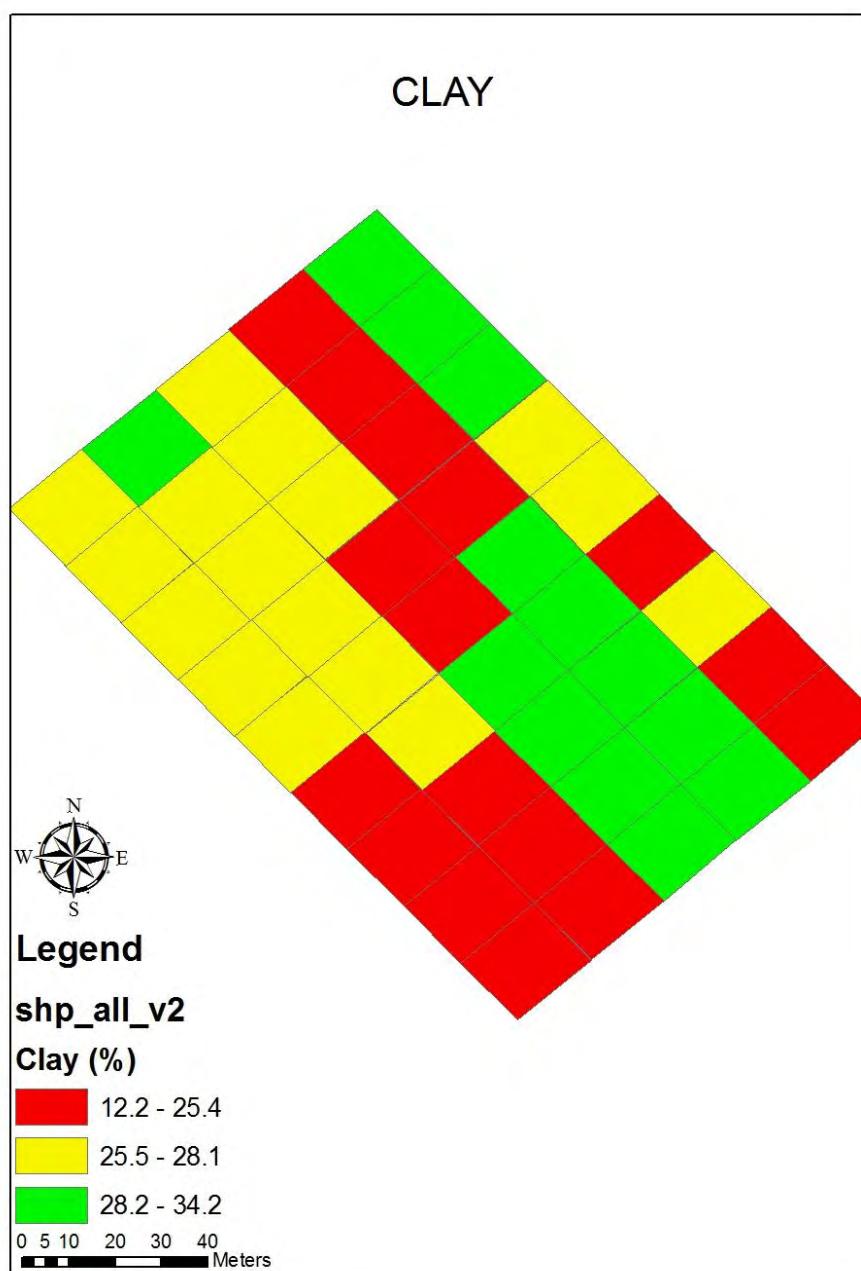
Σχήμα 4.2-1. Χαρτογράφηση ηλεκτρικής αγωγιμότητας.

Σήμερα μια από τις απλούστερες και οικονομικότερες μετρήσεις παραμέτρων του εδάφους που χρησιμοποιείται στη γεωργία ακριβείας είναι αυτή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (ECa). Η ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους ενοποιεί ένα ευρύτερο σύνολο παραγόντων που επηρεάζουν την παραγωγή μιας καλλιέργειας όπως είναι η εδαφική υγρασία, η δομή του εδάφους, η οργανική ουσία, το βάθος σκληρού ορίζοντα, η αλατότητα καθώς και τα ανταλλάξιμα ασβέστιο και μαγνήσιο.

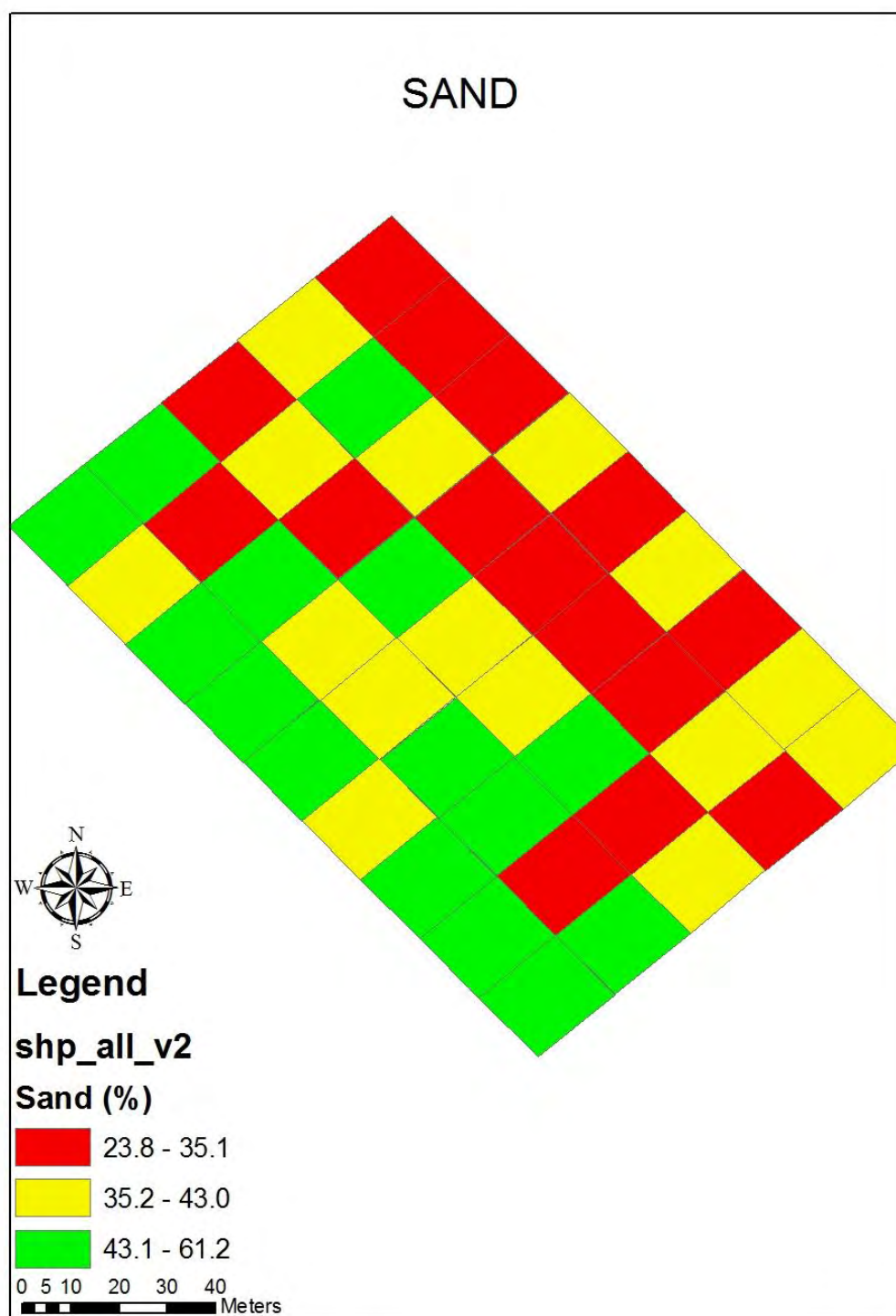
Βλέποντας τον χάρτη ηλεκτρικής αγωγιμότητας, παρατηρούμε πως η ηλεκτρική αγωγιμότητα στο νότιο τμήμα του οπωρώνα έχει υψηλές τιμές, στο μεσαίο τμήμα έχει διάφορες τιμές ενώ στο βόρειο τμήμα οι τιμές είναι χαμηλές. Η παραλλακτικότητα που παρατηρείται στην ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους μπορεί να οφείλεται στην παραλλακτικότητα ενός ή περισσότερων παραγόντων από τους προαναφερθέντες.

4.3 Χαρτογράφηση εδαφολογικών χαρακτηριστικών

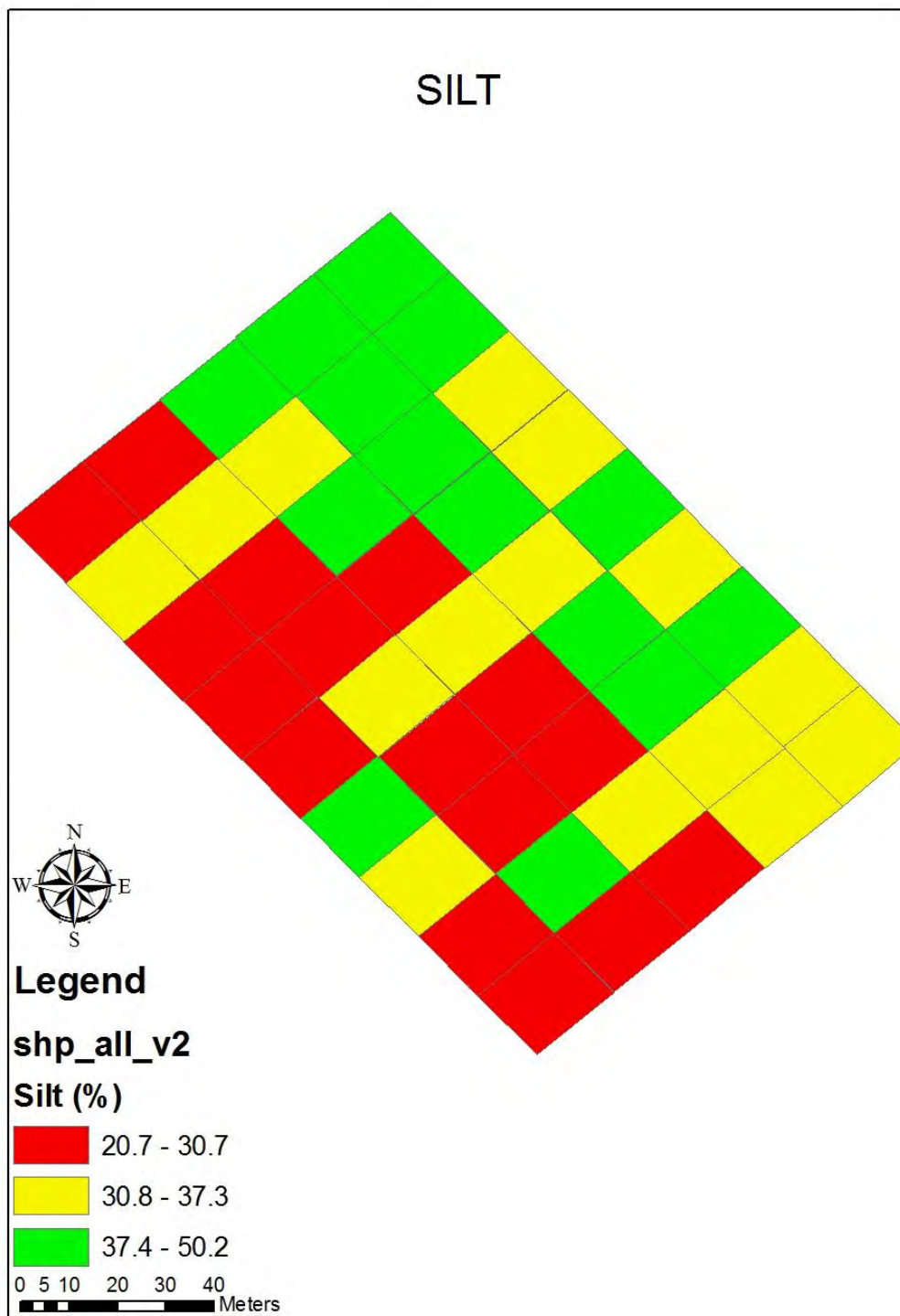
Μετά το πέρας της εδαφολογικής ανάλυσης με την μέθοδο Βουγιούκου τα δεδομένα της μηχανικής σύστασης του εδάφους εισήχθησαν στο λογισμικό ArcMap για να γίνει η γεωδεσία τους. Παρακάτω παρουσιάζονται οι χάρτες που δείχνουν την παραλλακτικότητα της αργίλου, της άμμου, της ιλύος, της οργανικής ουσίας καθώς και του καλίου και ασβεστίου του εδάφους. (Σχήματα 4.3-1 έως 4.3-5).



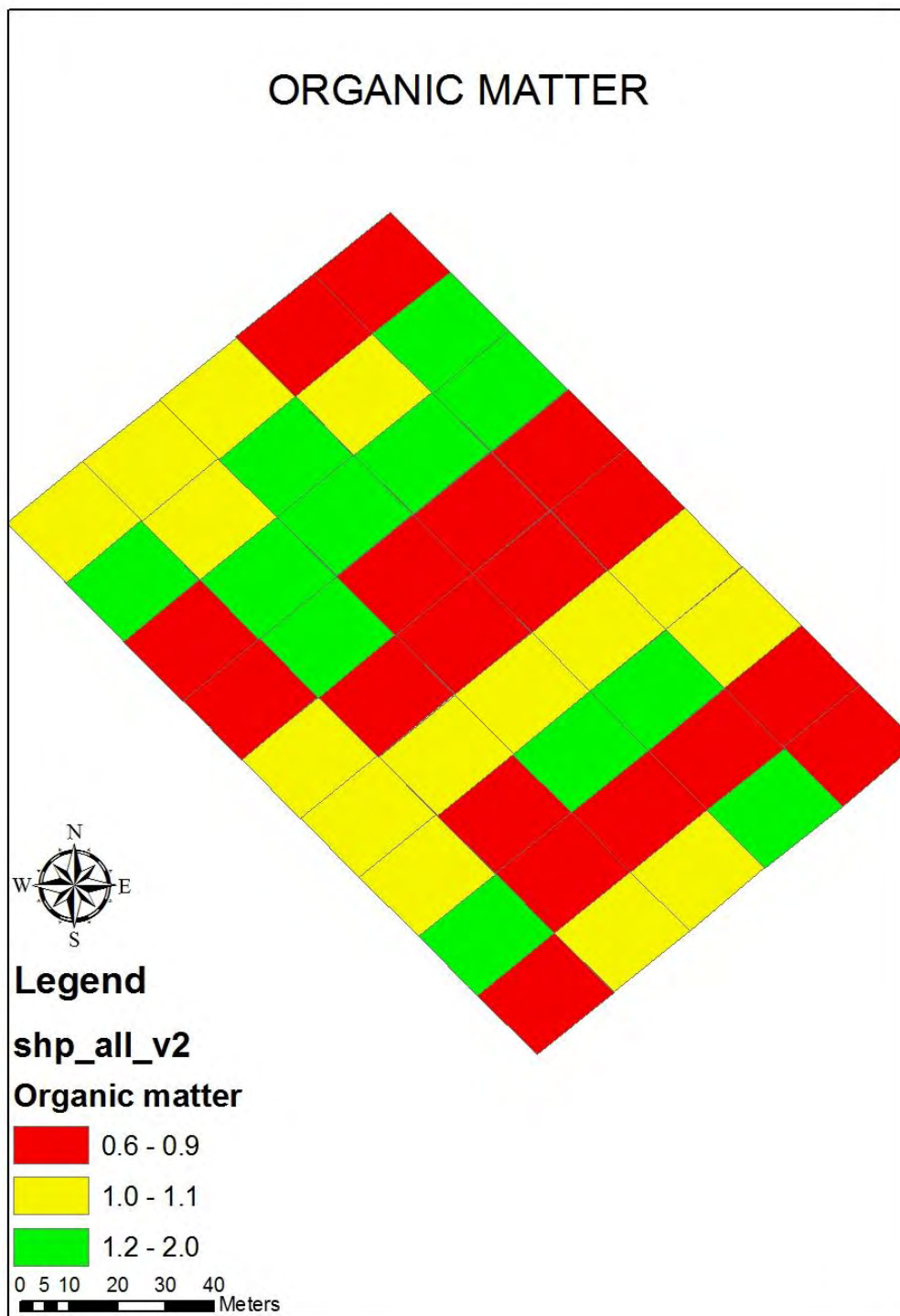
Σχήμα 4.3-1. Παραλλακτικότητα της αργίλου.



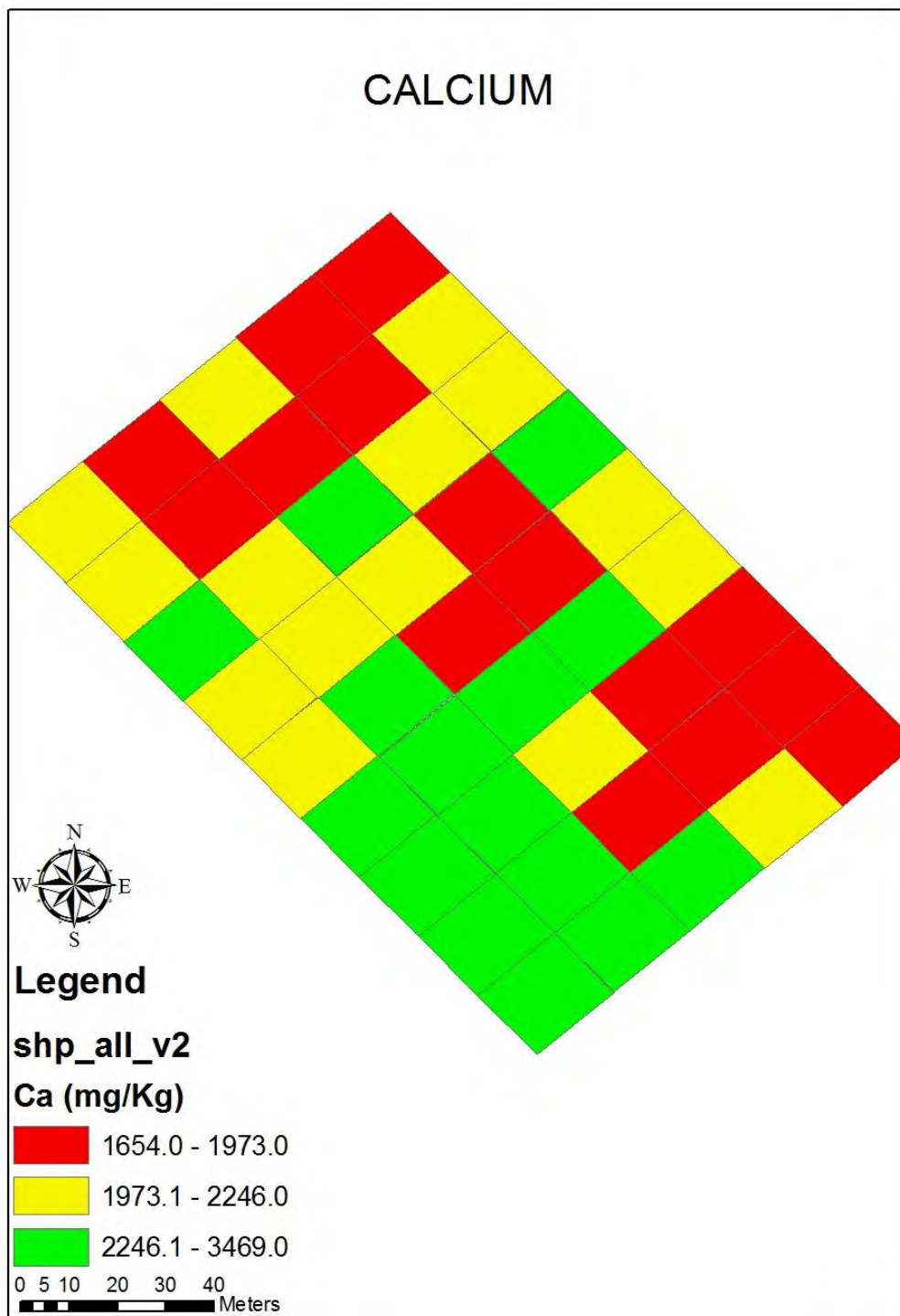
Σχήμα 4.3-2. Παραλλακτικότητα της άμμου.



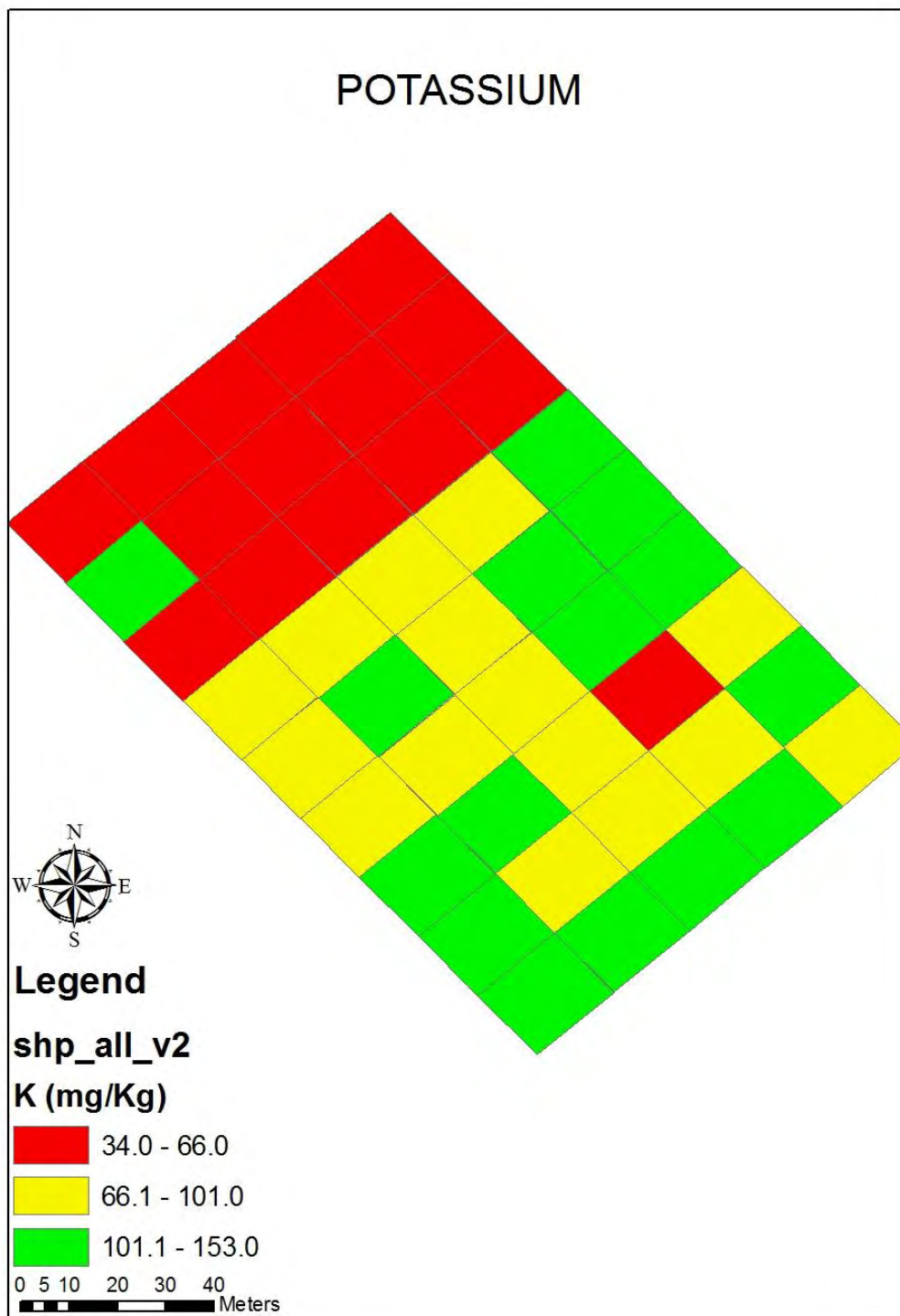
Σχήμα 4.3-3. Παραλλακτικότητα της υλός.



Σχήμα 4.3-4. Παραλλακτικότητα της οργανικής ουσίας.



Σχήμα 4.3-5. Παραλλακτικότητα του ασβεστίου.



Σχήμα 4.3-7. Παραλλακτικότητα του καλίου.

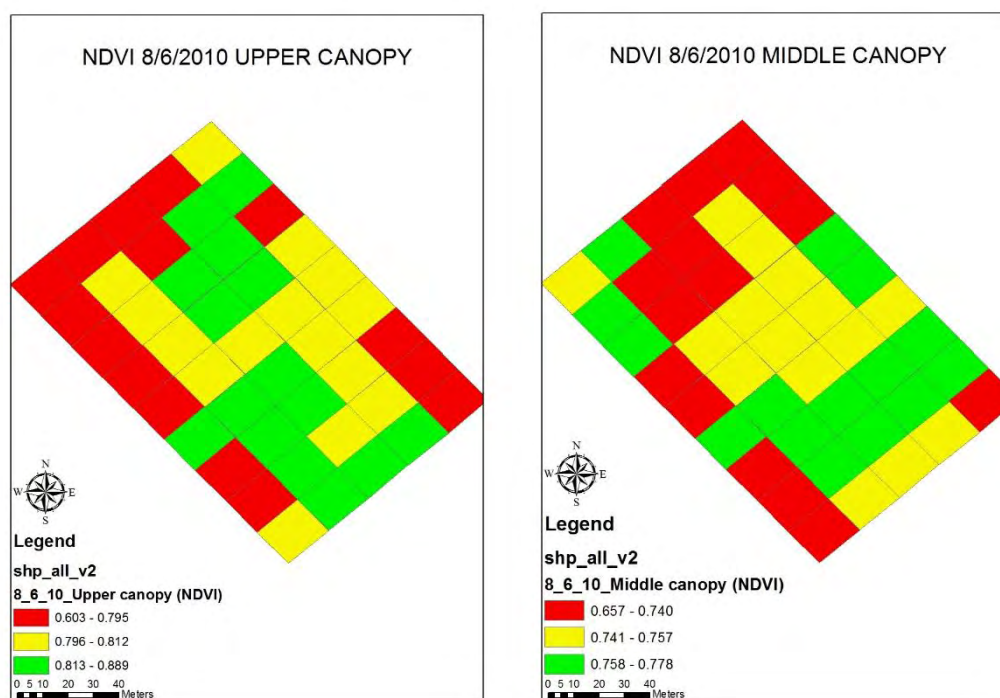
Αυτό που είναι εμφανές στους χάρτες της ιλύος και της άμμου είναι ότι η παραλλακτικότητα της άμμου στο έδαφος είναι αντιστρόφως ανάλογη με την παραλλακτικότητα της ιλύος. Όσον αφορά την άργιλο, μεγάλες ποσότητες παρατηρούνται από το νότιο τμήμα του οπωρώνα μέχρι την μέση ενώ από την μέση μέχρι και το βόρειο τμήμα του οπωρώνα μειώνεται. Αυτό ίσως να εξηγεί και την ύπαρξη της υψηλής εδαφικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας στο νότιο τμήμα του οπωρώνα και την μείωσή της στο βόρειο τμήμα.

Το κάλιο είναι το στοιχείο που συμβάλει στη βελτίωση της ποιότητας των καρπών. Η δέσμευση του καλίου είναι μεγαλύτερη στα βαριά από ότι στα ελαφρά εδάφη. Παρατηρούμε από το χάρτη του καλίου ότι η περιεκτικότητα καλίου στο έδαφος είναι πιο χαμηλή στο βόρειο τμήμα του χωραφιού και νοτιότερα αυξάνεται.

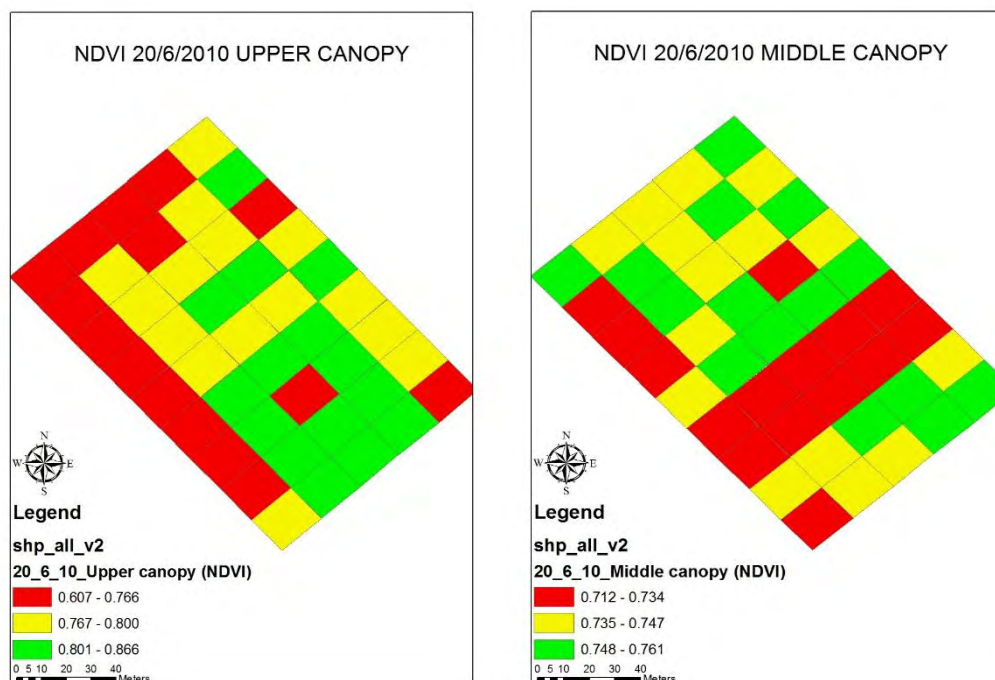
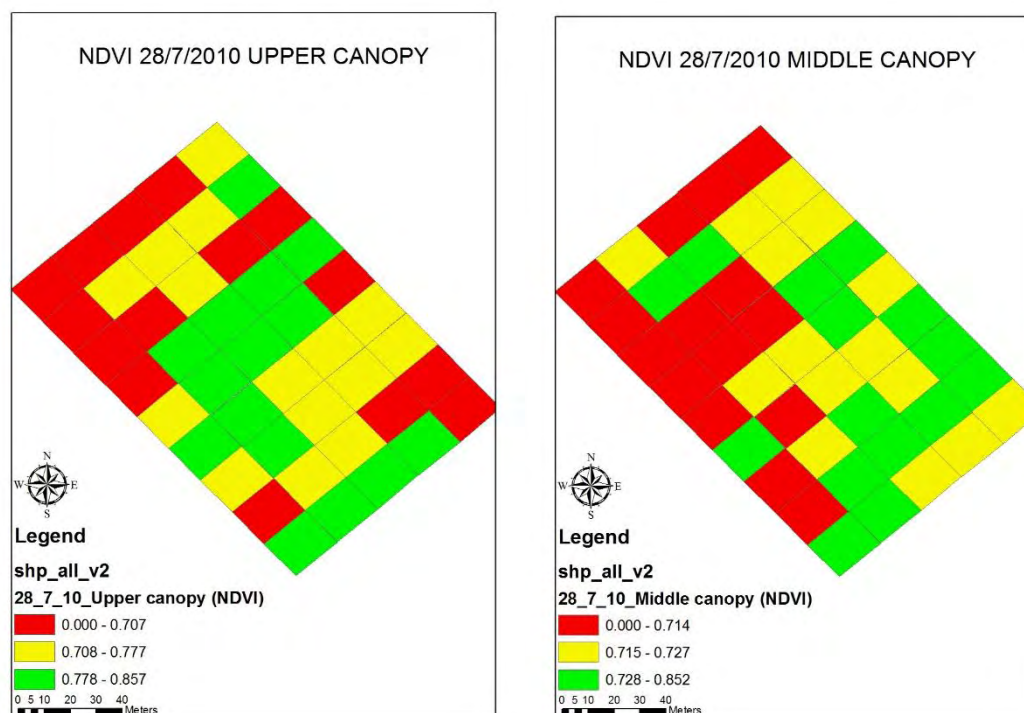
Το ασβέστιο είναι το στοιχείο της συντηρησιμότητας των καρπών γιατί αποτρέπει την εκδήλωση πολλών φυσιολογικών ασθενειών. Στο χάρτη παρατηρούμε μια παραλλακτικότητα στη περιεκτικότητα του ασβεστίου στο έδαφος όπου το ασβέστιο αυξάνεται σταδιακά από το βόρειο προς το νότιο τμήμα του οπωρώνα.

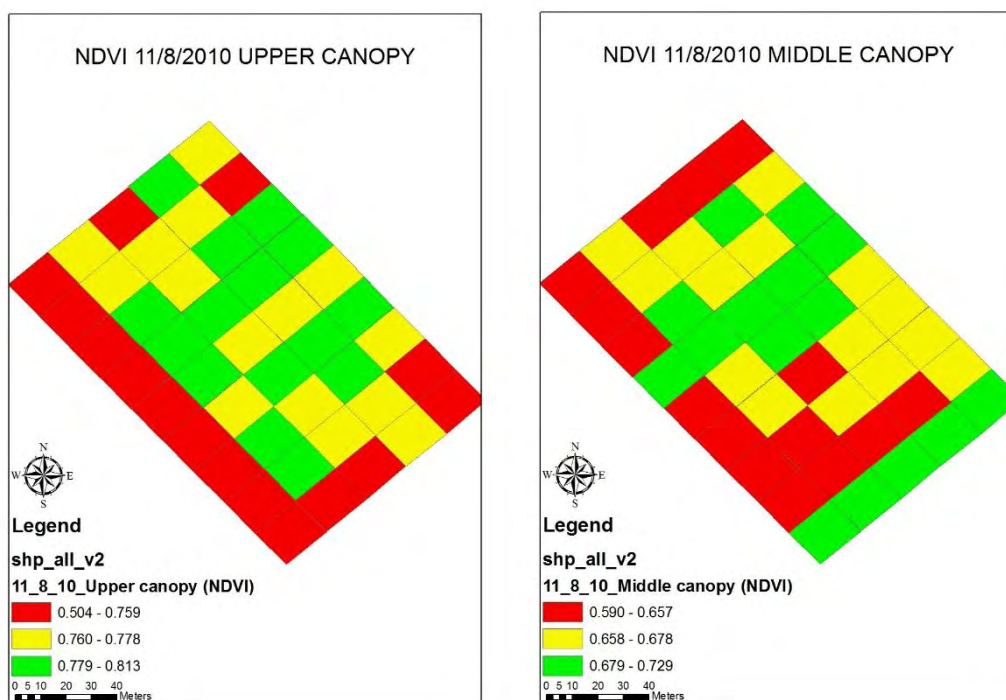
4.4 Χαρτογράφηση του δείκτη NDVI

Πραγματοποιήθηκαν 6 μετρήσεις του δείκτη NDVI σε διάφορες χρονικές στιγμές. Όπως προαναφέρθηκε εξαιτίας της ανομοιόμορφης ανάπτυξης της κόμης των δέντρων (τα πάνω φύλλα είναι τα νέα και τα κάτω τα παλιά) έγιναν 3 μετρήσεις κάθε φορά σε διαφορετικά ύψη. Οι παρακάτω χάρτες είναι τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τις μετρήσεις του δείκτη NDVI στη πάνω και μέση κόμη των δέντρων (Σχήματα 4.4-1 έως 4.4-6).

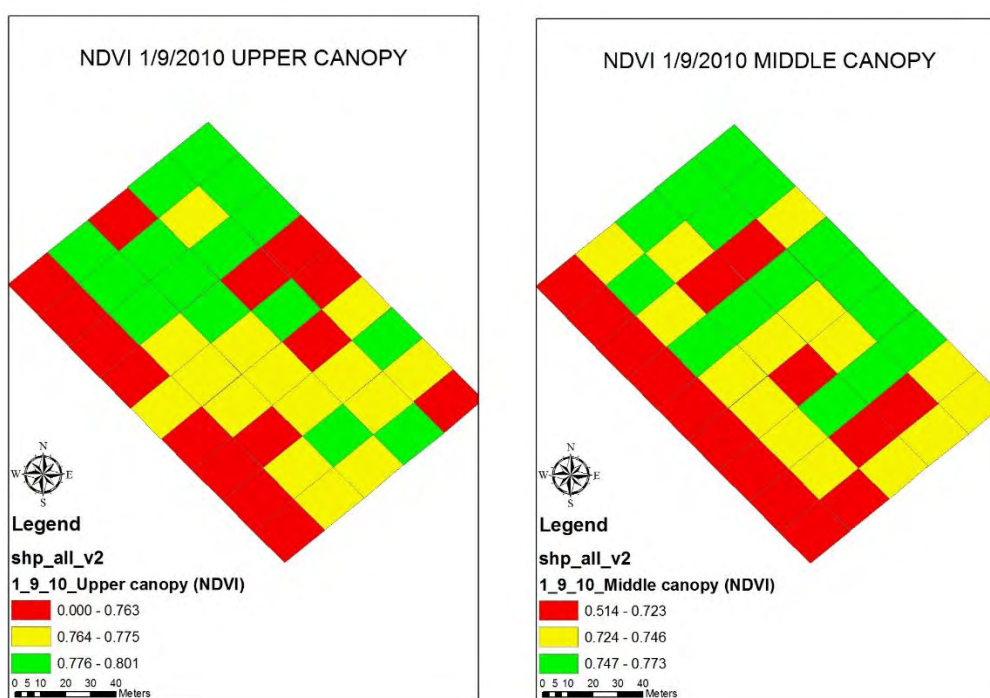


Σχήμα 4.4-1. Χαρτογράφηση του δείκτη NDVI της άνω και μέσης κόμης για τη 1^η μέτρηση.

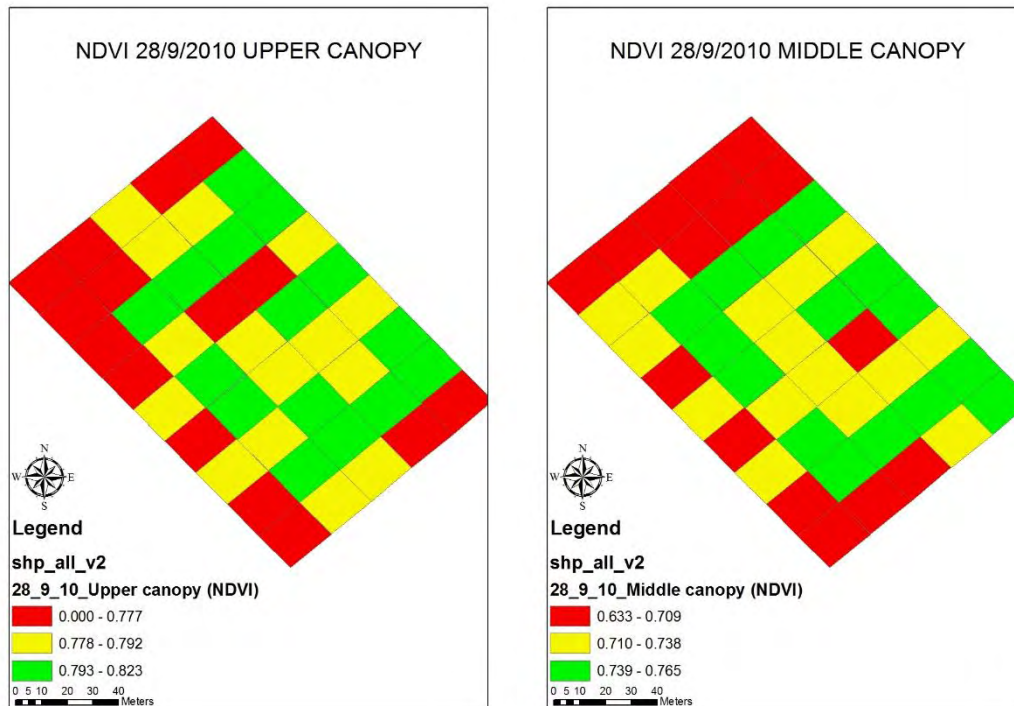
Σχήμα 4.4-2. Χαρτογράφηση του δείκτη NDVI της άνω και μέσης κόμης για τη 2^η μέτρηση.Σχήμα 4.4-3. Χαρτογράφηση του δείκτη NDVI της άνω και μέσης κόμης για τη 3^η μέτρηση.



Σχήμα 4.4-4. Χαρτογράφηση του δείκτη NDVI της άνω και μέσης κόμης για τη 4^η μέτρηση.



Σχήμα 4.4-5. Χαρτογράφηση του δείκτη NDVI της άνω και μέσης κόμης για την 5^η μέτρηση.

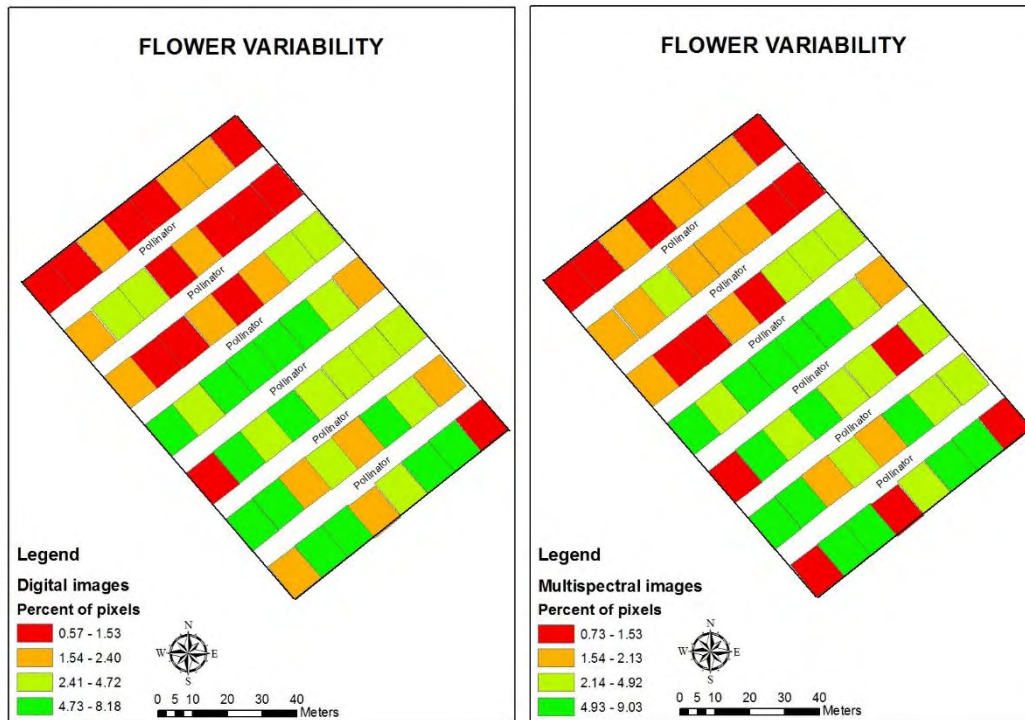


Σχήμα 4.4-6. Χαρτογράφηση του δείκτη NDVI της άνω και μέσης κόμης για τη 6^η μέτρηση.

Παρατηρώντας τους χάρτες είναι εμφανές ότι στο χωράφι σχηματίζονται διαφορετικές ζώνες κατά την διάρκεια της βλαστικής περιόδου. Μπορούμε να πούμε ότι στο νοτιότερο τμήμα του οπωρώνα κατά τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου οι τιμές του NDVI αυξάνονται που σημαίνει ότι τα δέντρα είναι υγιή. Στα μέσα του οπωρώνα οι τιμές του NDVI μειώνονται με αποτέλεσμα στο βορειότερο τμήμα του οπωρώνα οι τιμές του NDVI να είναι χαμηλές. Αυτό το γεγονός συσχετίζεται με την ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους καθώς εκεί που υπάρχει υψηλή ποσότητα εδαφικής υγρασίας το NDVI έχει τιμές υψηλές και το αντίθετο.

4.5 Χαρτογράφηση ανθέων

Μετά από την ανάλυση των εικόνων τα δεδομένα γεωδέθηκαν στο πρόγραμμα ArcMap για να εξεταστεί η κατανομή των ανθέων στον οπωρώνα (Σχήμα 4.5-1).

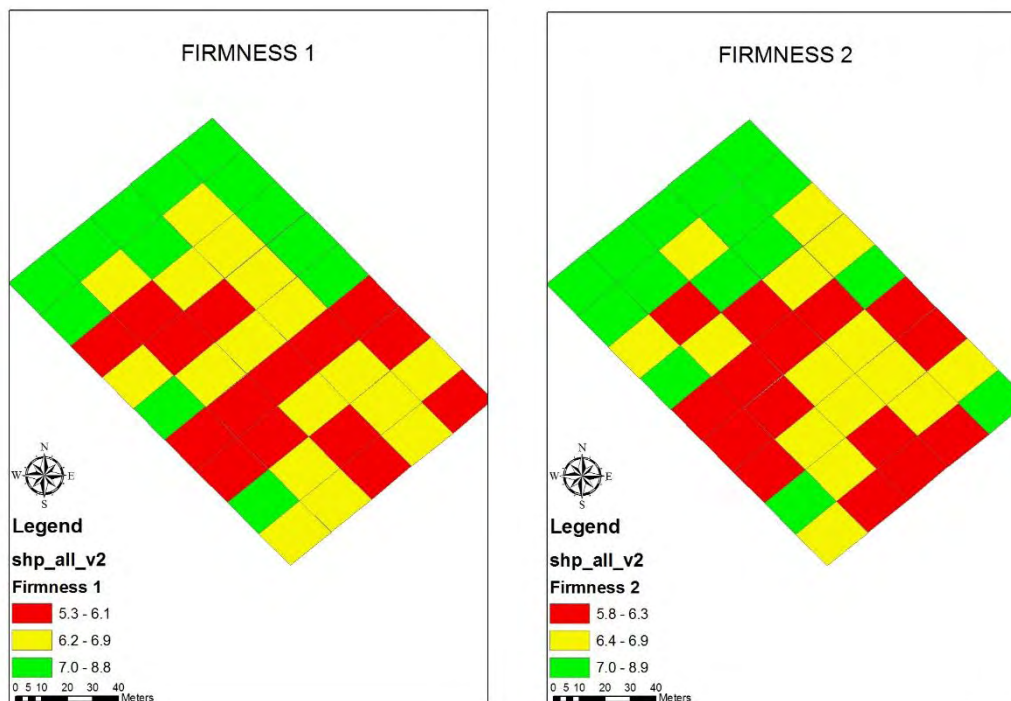


Σχήμα 4.5-1. Παραλλακτικότητα των ανθέων όπως προκύπτει από τις δύο μεθόδους

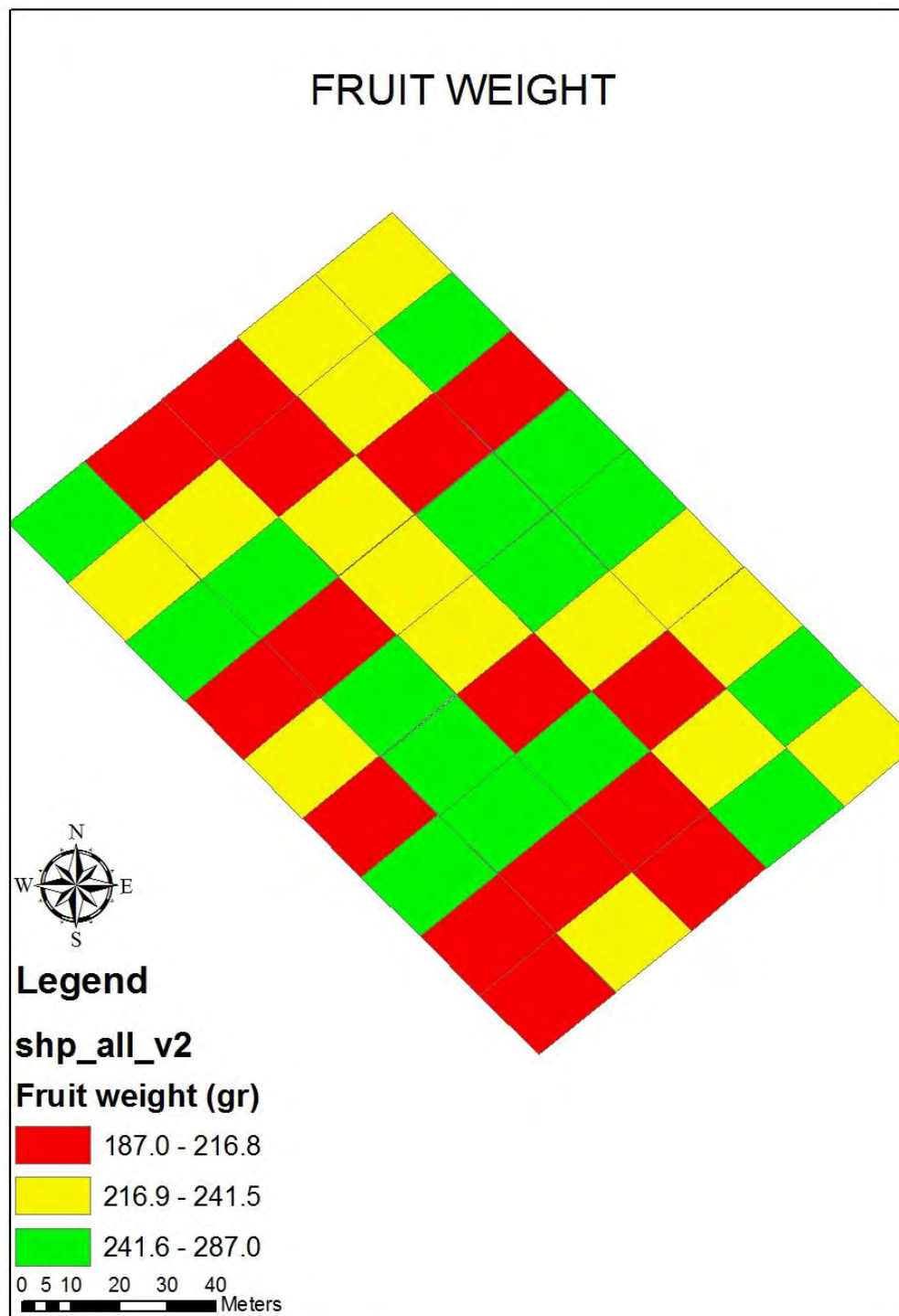
Η μελέτη της παραλλακτικότητας των ανθέων και με τις δύο μεθόδους έδειξε ότι από το νότιο τμήμα του οπωρώνα μέχρι και την μέση του το πλήθος των ανθέων είναι μεγάλο ενώ μετά από την μέση μέχρι το βόρειο τμήμα του το πλήθος των ανθέων μειώνεται σταδιακά. Αυτό συμφωνεί με τα συμπεράσματα που προκύπτουν για την παραγωγή των καρπών και την ηλεκτρική αγωγιμότητα. Συγκεκριμένα η συσχέτιση της παραλλακτικότητας της παραγωγής με το πλήθος των ανθέων είναι αρκετά υψηλή που σημαίνει ότι σε πρώιμο στάδιο μπορεί να γίνει η εκτίμηση της παραγωγής με την καταγραφή του πλήθους των ανθέων.

4.6 Χαρτογράφηση ποιοτικών χαρακτηριστικών των καρπών

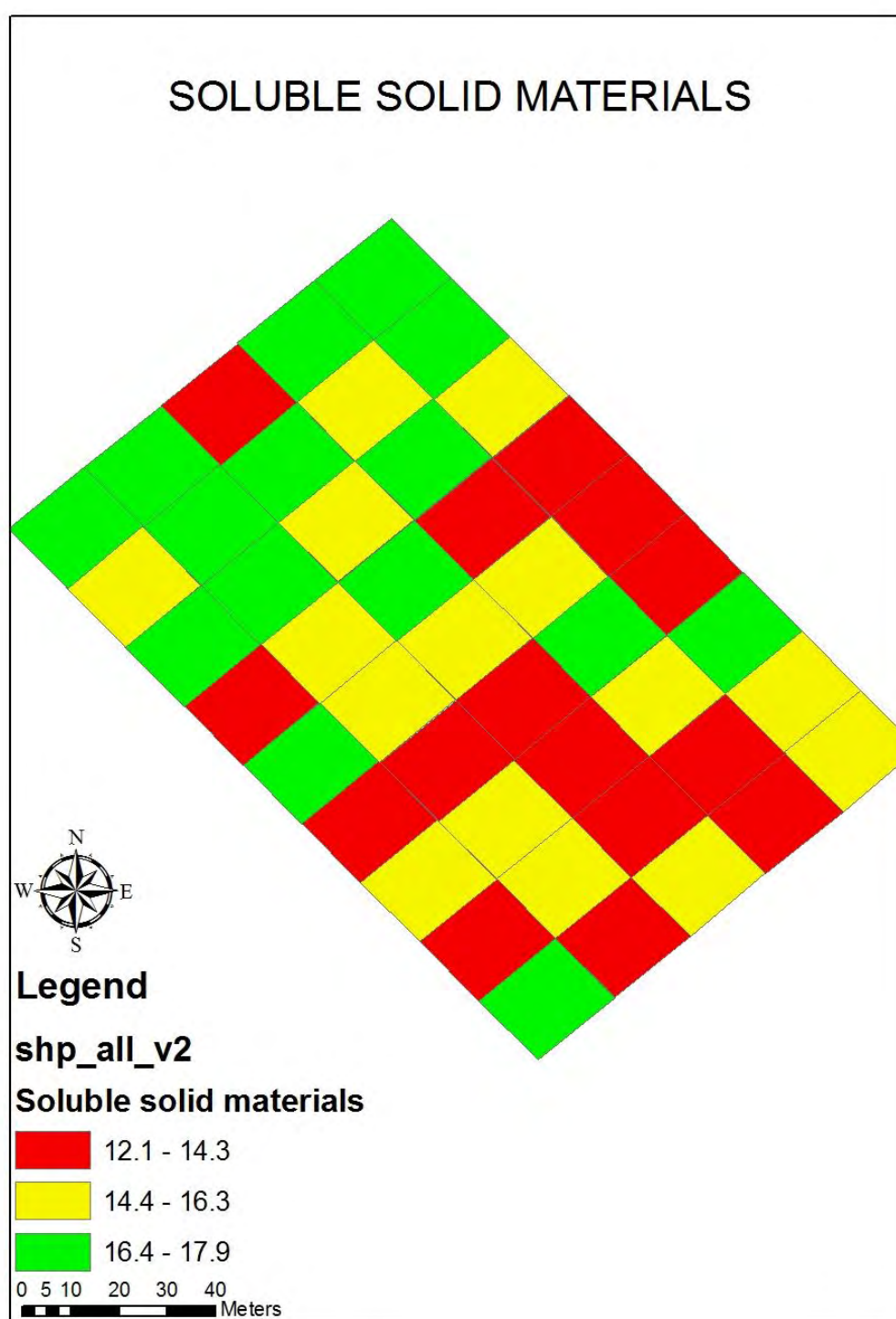
Η ανάλυση διαφόρων ποιοτικών παραμέτρων των μήλων μας έδειξε την κατανομή της ποιότητας των καρπών εντός του οπωρώνα. Παρακάτω παρατίθενται οι χάρτες που δείχνουν την παραλλακτικότητα των καρπών όσον αφορά τη σκληρότητα τους, το βάρος τους, τα διαλυτά στερεά συστατικά του χυμού, το pH και την οξύτητα του χυμού (Σχήματα 4.6-1 έως 4.6-5).



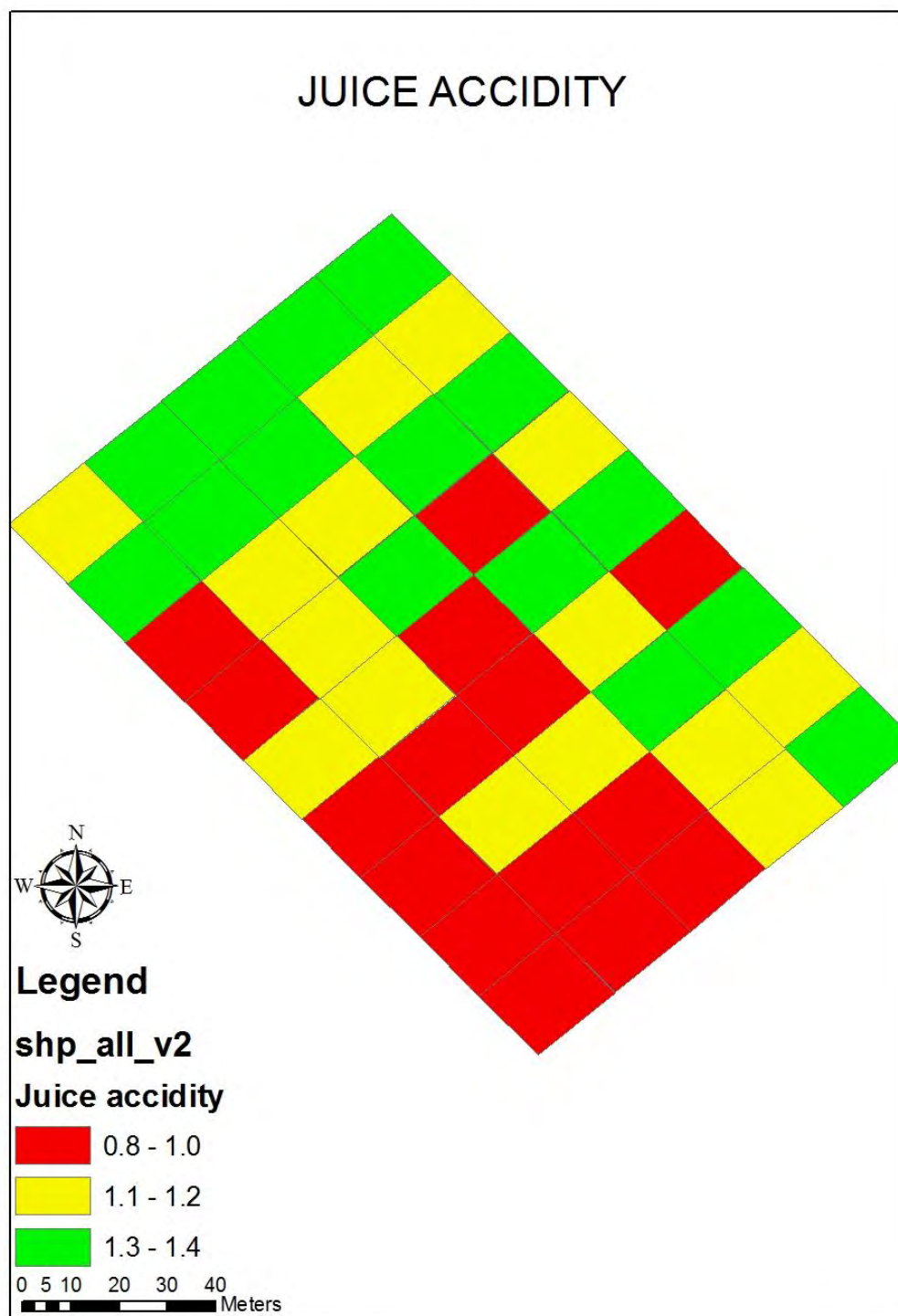
Σχήμα 4.6-1. Παραλλακτικότητα της σκληρότητας της σάρκας των καρπών.



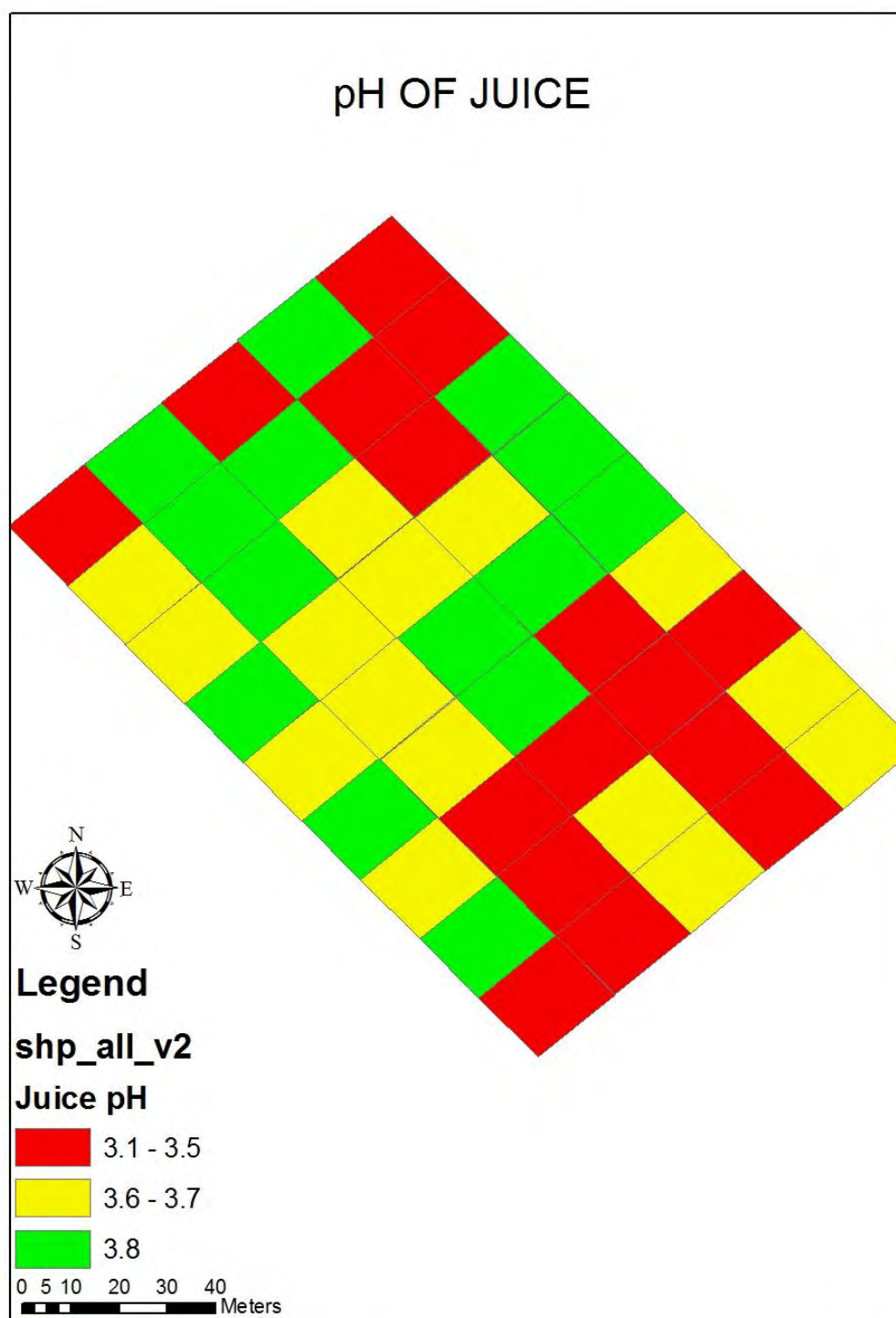
Σχήμα 4.6-2. Παραλλακτικότητα του βάρους των καρπών.



Σχήμα 4.6-3. Παραλλακτικότητα των διαλυτών στερεών του χυμού των καρπών.



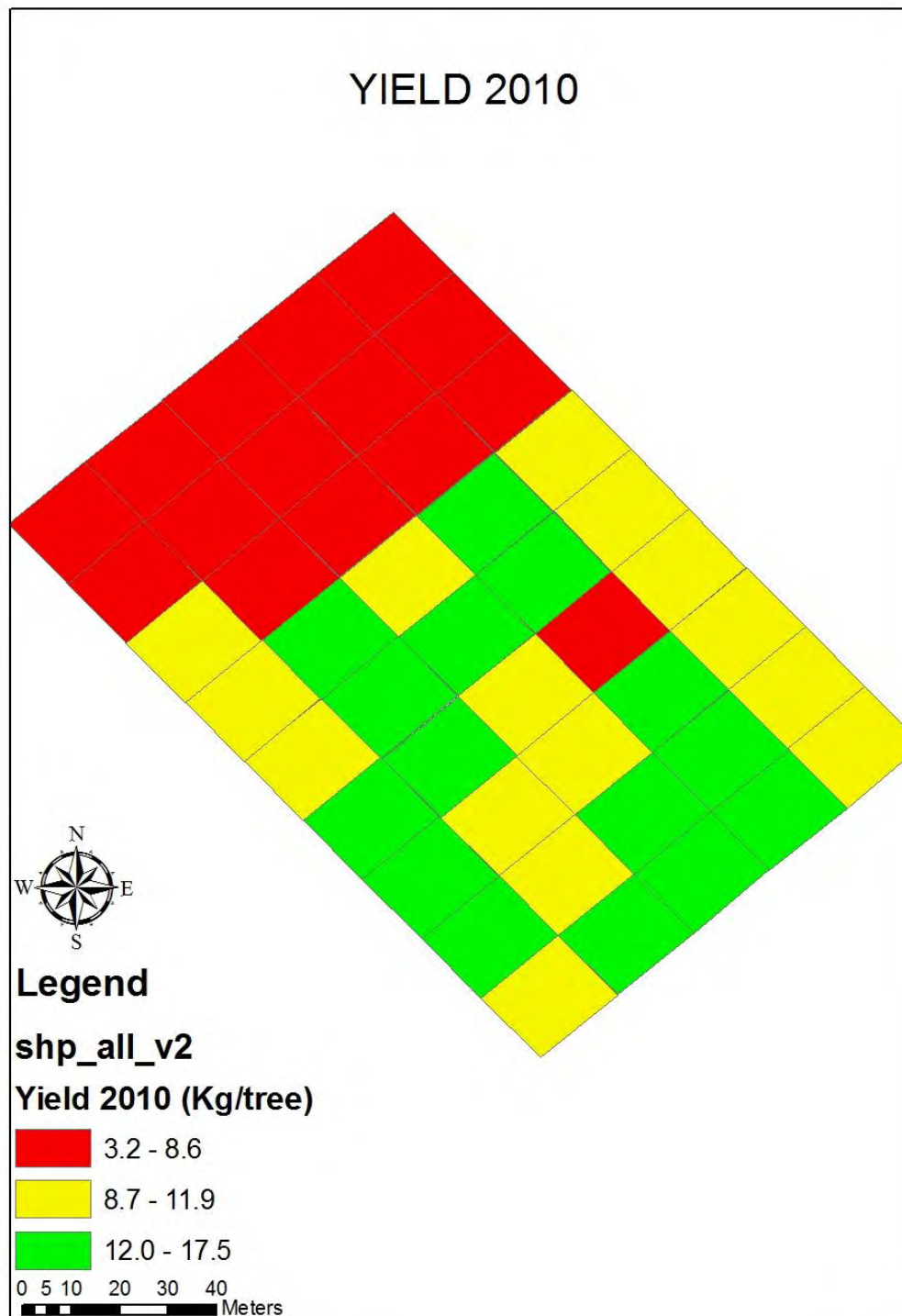
Σχήμα 4.6-4. Παραλλακτικότητα της οξύτητας του χυμού των καρπών.



Σχήμα 4.6-5. Παραλλακτικότητα του pH του χυμού των καρπών.

4.7 Χαρτογράφηση παραγωγής

Τα δεδομένα αφού συλλέχτηκαν εισήχθησαν στο πρόγραμμα ArcMap για την δημιουργία του χάρτη της παραλλακτικότητας της παραγωγής (Σχήμα 4.7 -1).



Σχήμα 4.7-1. Παραλλακτικότητα της παραγωγής

Παρατηρώντας τον χάρτη της παραγωγής είναι εμφανές ότι η παραγωγή από το νοτιότερο τμήμα του οπωρώνα μέχρι την μέση έχει υψηλή παραγωγή ενώ από τη μέση και προς τα βόρεια η παραγωγή μειώνεται σταδιακά. Η παραγωγή των δέντρων και γενικότερα του οπωρώνα εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, κάποιοι από τους οποίους μελετήθηκαν στο συγκεκριμένο πείραμα και στη συνέχεια γίνεται μια προσπάθεια να διερευνηθεί η συσχέτιση αυτών με τη τελική παραγωγή.

5 Συσχετίσεις – Συμπεράσματα

5.1 Συσχετίσεις

Όπως είναι εμφανές από τους χάρτες, αλλά ύστερα και από τη επεξεργασία των δεδομένων στο στατιστικό πρόγραμμα SPSS, υπάρχει μια θετική συσχέτιση μεταξύ της ηλεκτρικής αγωγιμότητας με την παραγωγή του οπωρώνα. Αυτό σύμφωνα με τη βιβλιογραφία δε συμβαίνει πάντα διότι όπως προαναφέραμε η ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Παρόλα αυτά η χαρτογράφηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους είναι ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για τους γεωργούς για τη δημιουργία ζωνών διαχείρισης για κατευθυνόμενη δειγματοληψία εδάφους καθώς επίσης και για μια πιθανή πρόβλεψη της παραγωγής του οπωρώνα. Τα αποτελέσματα της συσχέτισης δίνονται στο παρακάτω πίνακα (Πίνακας 5.1-1).

		Ηλεκτρική αγωγιμότητα
Παραγωγή	Pearson	0,455
	Sig.	,002

Πίνακας 5.1-1. Πίνακας συσχέτισης ηλεκτρικής αγωγιμότητας με τη παραγωγή.

Στη συνέχεια διερευνήθηκε η συσχέτιση των εδαφολογικών χαρακτηριστικών με την παραγωγή του οπωρώνα. Τα αποτελέσματα δίνονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 5.1-2).

		Εδαφολογικά χαρακτηριστικά					
		άργιλος	άμμος	ιλύς	οργανική ουσία	κάλιο	ασβέστιο
Παραγωγή	Pearson	-0,044	0,171	-0,168	-0,218	0,638	0,308
	Sig.	,772	,262	,271	,150	,000	,039

Πίνακας 5.1-2. Πίνακας συσχέτισης των εδαφολογικών χαρακτηριστικών με τη παραγωγή.

Από τον παραπάνω πίνακα προκύπτει πως υπάρχει μια θετική συσχέτιση της περιεκτικότητας του καλίου και του ασβεστίου στο έδαφος με την παραγωγή. Οι χάρτες λοιπόν που απεικονίζουν την περιεκτικότητα του καλίου και ασβεστίου στο έδαφος θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν από τους παραγωγούς για τη δημιουργία ζωνών διαχείρισης με σκοπό την εφαρμογή λίπανσης με μεταβλητές δόσεις σύμφωνα με τις ανάγκες της καλλιέργειας για την επόμενη χρονιά. Αντίθετα δε βρέθηκε κάποια συσχέτιση της παραγωγής με τα επίπεδα της αργίλου, της άμμου, της ιλύος και της οργανικής ουσίας στο έδαφος.

Στη συνέχεια μελετήθηκε η συσχέτιση του δείκτη NDVI και για τις έξι μετρήσεις που διενεργήθηκαν με την παραγωγή του οπωρώνα. Τα αποτελέσματα δίνονται στους παρακάτω πίνακες (Πίνακας 5.1-3, 5.1-4).

		Μετρήσεις NDVI στην άνω κόμη					
		8-6-10	20-6-10	28-7-10	11-8-10	1-9-10	28-9-10
Παραγωγή	Pearson	0,661	0,490	0,191	-0,097	-0,086	-0,186
	Sig.	,000	,001	,208	,525	,575	,222

Πίνακας 5.1-3. Πίνακας συσχέτισης του δείκτη NDVI στην άνω κόμη με τη παραγωγή.

		Μετρήσεις NDVI στην μέση κόμη					
		8-6-10	20-6-10	28-7-10	11-8-10	1-9-10	28-9-10
Παραγωγή	Pearson	0,558	-0,163	-0,209	0,191	-0,081	0,440
	Sig.	,000	,285	,168	,209	,597	,773

Πίνακας 5.1-4. Πίνακας συσχέτισης του δείκτη NDVI στην μέση κόμη με τη παραγωγή.

Από τους παραπάνω πίνακες παρατηρούμε πως η πρώτη μέτρηση του δείκτη NDVI στην άνω και στη μέση κόμη που πραγματοποιήθηκε στις 8-06-2010 έχει θετική συσχέτιση με τη παραγωγή. Επίσης θετική συσχέτιση με τη παραγωγή παρατηρείται και στη δεύτερη μέτρηση της άνω κόμης. Αντίθετα για τις επόμενες

μετρήσεις δεν βρέθηκε κάποια συσχέτιση με τη παραγωγή. Συμπεραίνουμε λοιπόν πως μια μέτρηση της ευρωστίας των φυτών στην αρχή περίπου της βλαστικής περιόδου των δέντρων μπορεί να μας δώσει μια πρόβλεψη για την τελική παραγωγή των δέντρων.

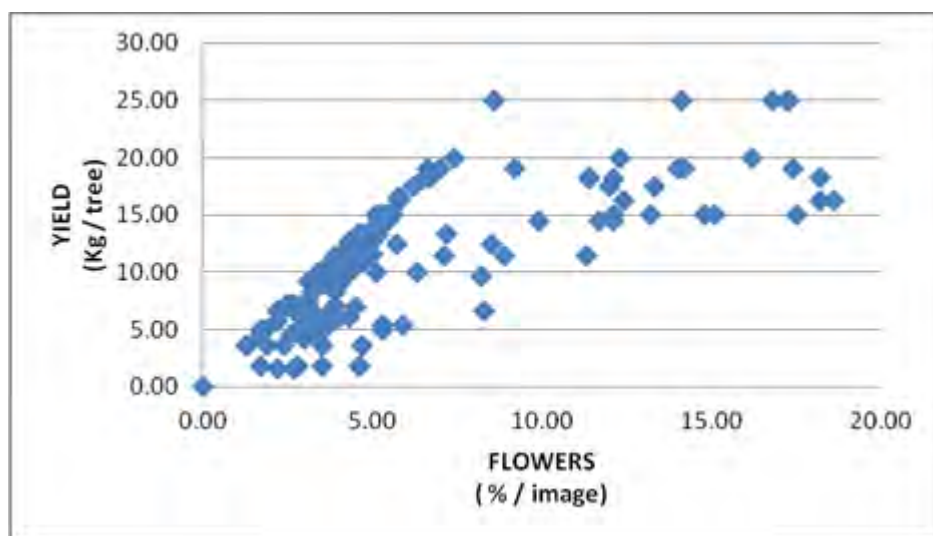
Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 5.1-5) δίνονται τα αποτελέσματα της συσχέτισης των ποιοτικών χαρακτηριστικών των καρπών με τη παραγωγή.

		Ποιοτικά χαρακτηριστικά καρπού					
		Σκληρότητα 1	Σκληρότητα 2	βάρος	Διαλυτά στερεά	Οξύτητα χυμού	pH
Παραγωγή	Pearson	-0,599	-0,571	-0,320	-0,502	-0,508	-0,029
	Sig.	,000	,000	,032	,000	,000	,848

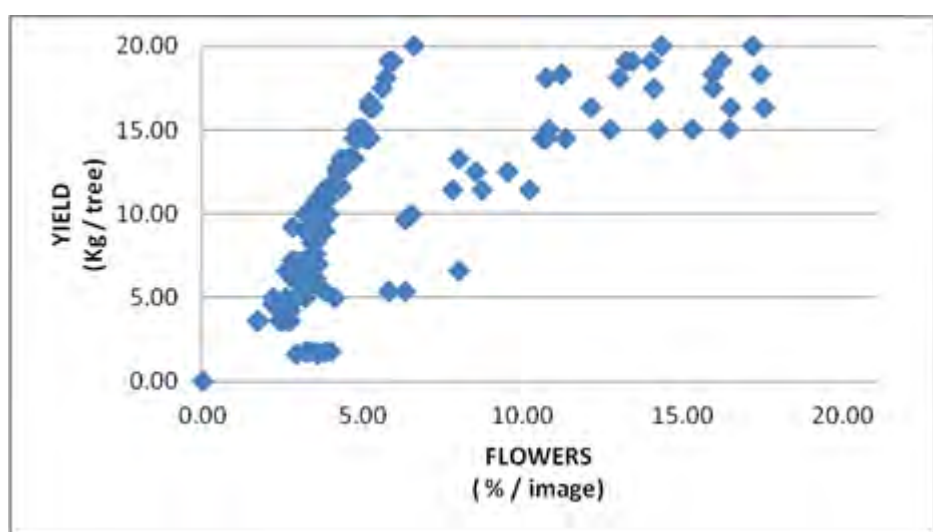
Πίνακας 5.1-5. Πίνακας συσχέτισης των ποιοτικών χαρακτηριστικών των καρπών με τη παραγωγή.

Αυτό που είναι εμφανές από τους χάρτες αλλά και από την επεξεργασία των δεδομένων είναι ότι η σκληρότητα της σάρκας των καρπών, το βάρος, η οξύτητα του χυμού και τα διαλυτά στερεά συσχετίζονται αρνητικά με την παραγωγή. Αυτό που συμπεραίνουμε, και είναι ήδη γνωστό από τη βιβλιογραφία, είναι πως όταν η παραγωγή του οπωρώνα ή μεμονωμένα κάποιων δέντρων είναι μεγάλη τότε υποβαθμίζεται η ποιότητα των καρπών. Για το λόγο αυτό όπως αναφέραμε και στη βιβλιογραφία πραγματοποιούμε αραίωμα των καρπών που αποσκοπεί στην αύξηση του μεγέθους των καρπών, στην εξάλειψη της ανομοιομορφίας τους, στη βελτίωση της ποιότητας τους και στη διατήρηση της ζωνρότητας των δένδρων. Στη παρούσα έρευνα πραγματοποιήθηκε αραίωμα των καρπών στον πειραματικό οπωρώνα από τον παραγωγό. Το αραίωμα των καρπών μπορεί να γίνει με τα χέρια, μετά την καρπόπτωση του Μαΐου, όταν οι καρποί αποκτήσουν το μέγεθος καρυδιού, με κλάδεμα κατά τη ληθαργική περίοδο και με χημικά μέσα.

Τέλος παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της συσχέτισης της ανθοφορίας με τη παραγωγή. Σε αυτό το σημείο για τη συσχέτιση των δεδομένων μας χρησιμοποιήσαμε στο SPSS την επιλογή γραφήματος διασποράς (scatter plot). Έγινε ένα γράφημα για την συσχέτιση των δεδομένων της ανθοφορίας όπως αυτά προέκυψαν από τις εικόνες της ψηφιακής κάμερας (Γράφημα 5.1-1) και ένα γράφημα για τα δεδομένα από τις εικόνες της πολυφασματικής κάμερας (Γράφημα 5.1-2).



Γράφημα 5.1-1. Γράφημα διασποράς των δεδομένων της παραγωγής και της ανθοφορίας χρησιμοποιώντας ψηφιακή κάμερα.



Γράφημα 5.1-2. Γράφημα διασποράς των δεδομένων της παραγωγής και της ανθοφορίας χρησιμοποιώντας πολυφασματική κάμερα.

Στο πρώτο γράφημα παρουσιάζονται τα διάσπαρτα σημεία που αντιπροσωπεύουν το ποσοστό των λουλουδιών στην εικόνα από την ψηφιακή κάμερα σε σχέση με την συνολική παραγωγή. Ο συσχετισμός Pearson μεταξύ των λουλουδιών και την τελική παραγωγή έδωσε $r = 0.716$ που είναι στατιστικά σημαντική σε $p < 0,01$.

Στο δεύτερο γράφημα παρουσιάζονται τα διάσπαρτα σημεία που αντιπροσωπεύουν το ποσοστό των λουλουδιών στην εικόνα από την πολυφασματική κάμερα σε σχέση με την συνολική παραγωγή. Ο συσχετισμός Pearson μεταξύ των λουλουδιών και την τελική παραγωγή έδωσε $r = 0.727$ που είναι στατιστικά σημαντική σε $p < 0,01$.

Είναι σαφές ότι η σχέση μεταξύ των δεδομένων του ποσοστού των λουλουδιών και των δεδομένων της παραγωγής εμφανίζουν πολύ μικρή διασπορά εκτός από μια μικρή ομάδα σημείων που η συσχέτιση μεταξύ της παραγωγής και του ποσοστού των pixel μιας εικόνας λουλουδιών ήταν υψηλότερη. Η ομάδα αυτή από τα διάσπαρτα σημεία, αντιπροσωπεύει εικόνες που δεν έχουν καλή αντίθεση λόγω της έντασης του ήλιου κατά τη διάρκεια της λήψης των εικόνων, παρόλα αυτά όμως εισήχθησαν στην ανάλυση για να αυξήσουν τον αριθμό των δειγμάτων, καθώς το σφάλμα στις εικόνες αυτές ήταν μικρότερο από άλλες που δεν συμπεριλήφθηκαν στο δείγμα.

Από τα αποτελέσματα των συσχετίσεων της ανθοφορίας με τη παραγωγή παρατηρούμε πως η μεταβλητότητα των λουλουδιών των δέντρων συσχετίζεται θετικά με τη μεταβλητότητα της τελικής παραγωγής και αυτό ισχύει και για τις δυο μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν. Η μέθοδος εκτίμησης των λουλουδιών χρησιμοποιώντας την πολυφασματική κάμερα έδωσε παρόμοια εκτίμηση της διακύμανσης της συνολικής παραγωγής με την εκτίμηση που έδωσε η ψηφιακή φωτογραφική μηχανή. Η διαφορά δεν ήταν τόσο μεγάλη και λόγω της διαφοράς κόστους, φαίνεται ότι οι ψηφιακές φωτογραφικές κάμερες μπορούν να προσφέρουν ικανοποιητικά αποτελέσματα.

5.2 Συμπεράσματα

Από όλες τις μετρήσεις που έγιναν κατά τη διάρκεια ενός καλλιεργητικού έτους στον οπωρώνα παρατηρήθηκε ότι υπάρχει σημαντική χωρική παραλλακτικότητα, σε όλους τους παράγοντες που μελετήθηκαν αλλά και στη τελική παραγωγή, παρόλο το μικρό μέγεθος του οπωρώνα. Κατά συνέπεια συμπεραίνουμε πως η παραλλακτικότητα αυτή του οπωρώνα επιτρέπει την εφαρμογή των συστημάτων της Γεωργίας Ακριβείας.

Μελετώντας τη συσχέτιση των παραγόντων που μετρήθηκαν με την τελική παραγωγή του οπωρώνα διαπιστώσαμε πως υπάρχει σημαντική συσχέτιση μεταξύ κάποιων από αυτούς με την παραγωγή. Αυτό μας δίνει τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσουμε τη χαρτογράφηση του χαρακτηριστικού αυτού για τη δημιουργία ζωνών διαχείρισης με σκοπό την καλύτερη διαχείριση των εισροών και των καλλιεργητικών πρακτικών την επόμενη χρονιά. Συγκεκριμένα βρήκαμε πως η ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους σχετίζεται θετικά με την παραγωγή ($r=0.455$, $p<0.002$) και αυτό δίνει τη δυνατότητα στον παραγωγό με τη μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, που είναι πολύ οικονομικός τρόπος, να δημιουργήσει ζώνες διαχείρισης για κατευθυνόμενη δειγματοληψία εδάφους καθώς επίσης και για μια πιθανή πρόβλεψη της παραγωγής του οπωρώνα.

Επίσης για τη μέτρηση του δείκτη ευρωστίας NDVI, όπου βρήκαμε θετική συσχέτιση ανάμεσα στη πρώτη από τις έξι μετρήσεις που έγιναν με την παραγωγή ($r=0.661$ για την άνω κόμη και $r=0.558$ για την μέση κόμη όπου $p<0,000$), συμπεραίνουμε πως μια μέτρηση της ευρωστίας των φυτών στην αρχή περίπου της βλαστικής περιόδου των δέντρων μπορεί να μας δώσει μια πρόβλεψη για την τελική παραγωγή των δέντρων.

Η χαρτογράφηση των εδαφικών χαρακτηριστικών έδειξε πως υπάρχει συσχέτιση της περιεκτικότητας του καλίου και ασβεστίου στο έδαφος με την παραγωγή ($r=0.638$, $p<0.000$ και $r=0.308$, $p<0.039$ αντίστοιχα) συνεπώς οι χάρτες αυτοί θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν από τους παραγωγούς για τη δημιουργία ζωνών διαχείρισης με σκοπό την εφαρμογή λίπανσης με μεταβλητές δόσεις σύμφωνα με τις ανάγκες της καλλιέργειας για την επόμενη χρονιά.

Η χαρτογράφηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών και η διερεύνηση της πιθανής συσχέτισης μεταξύ των ποιοτικών χαρακτηριστικών με τη παραγωγή έδειξε πως η σκληρότητα της σάρκας των καρπών (σκληρότητα 1 $r=-0.599$, σκληρότητα 2 $r=-0.571$ για $p<0.000$) το βάρος ($r=-0.320$ για $p<0.032$), η οξύτητα του χυμού ($r=-0.508$ για $p<0.000$) και τα διαλυτά στερεά ($r=-0.502$ για $p<0.000$) συσχετίζονται αρνητικά με την παραγωγή. Αυτό που συμπεραίνουμε είναι πως όταν η παραγωγή του οπωρώνα είναι μεγάλη τότε υποβαθμίζεται η ποιότητα των καρπών. Για το λόγο αυτό πραγματοποιούμε αραίωμα των καρπών που αποσκοπεί στην αύξηση του μεγέθους των καρπών, στην εξάλειψη της ανομοιομορφίας τους, στη βελτίωση της ποιότητας τους και στη διατήρηση της ζωηρότητας των δένδρων.

Τέλος οι χάρτες ανθοφορίας, καθώς βρέθηκε σημαντική συσχέτιση με τη παραγωγή (ψηφιακή κάμερα $r = 0.716$ $p < 0,01$ και πολυφασματική κάμερα $r = 0.727$ $p < 0,01$), θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για να γίνει πρόβλεψη της παραγωγής αλλά και της χωρικής κατανομής της από την Άνοιξη που είναι πολύ σημαντικό για τον παραγωγό και την αγορά. Επίσης θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την εφαρμογή λίπανσης και χημικού αραιώματος των καρπών με μεταβλητές δόσεις, με σκοπό να επιτευχθεί μείωση του κόστους των παραγωγών και των αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον από τη χρήση χημικών.

Βιβλιογραφία

Ξένη βιβλιογραφία

Aggelopoulou, K. D., Pateras, D., Fountas, S., Gemtos, T. A., Nanos, G. D., (2007). Soil spatial variability in small Greek apple orchards. 6th European Conference on Precision Agriculture, Skiathos, Greece.

Bassam, Q., Koichi, S., Tsuneo, K., (2008). Development of a yield sensor for measuring individual weight of onion bulbs. Biosystems engineering, 100 (4), pp. 511-515.

Betz, J.W., Kolodziejewski, K., 2000. "Extended theory of early-late code tracking for a bandlimited GPS receiver". *Navigation: Journal of The Institute of Navigation*. **47**(3).

Birrell, S. J., Sudduth, K. A., Borgelt, S. C., (1993). Crop yield and soil nutrient mapping. ASAE Paper No. 93-1556, St Joseph, Mich.: ASAE.

Blackmore, S., Godwin, R., Fountas, S., (2003). The analysis of spatial and temporal trends in yield map data over six years. Biosystems Engineering 84 (4), 455-466.

Bongiovanni, R., Lowenberg-Deboer, J., (2004). Precision Agriculture and Sustainability. Precision Agriculture, 5, pp. 359–387, 2004.

Bowers, C.G., Roberson, G.T., Cassel, D.K., Naderman, G.C., Brownie, C., (2001). Variable Rate Liquid Nitrogen Application for Cotton and Corn Production. July 30-August 1, 2001, 2001 ASAE Annual International Meeting, Sacramento, CA, ASAE Paper No. 01-1201.

Bramley, R. G. V., Hamilton, R. P., (2004). Understanding variability in wine grape production systems 1. Within vineyard variation in yield over several vintages. Australian Journal of Grape and Wine Research 10, pp. 32-45.

Diker, D. F. Heermann, K., W. C. Bausch, and D. K. Wright. 2004. Shannon-Wiener's Diversity Index for linking yield monitor and remotely sensed data for corn. Trans. ASAE 47:1347-1354.

Campbell, R.H., Rawlins, S., Han, S., (1994). Monitoring methods for potato harvesting. ASAE Paper No. 941584. ASAE, St. Joseph, MI.

Corwin, D., Lesch, S. (2005). Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture. Computer and electronics in agriculture, 46 (1-3), pp. 11-43.

De Baermaeker, J., Delcroix, R., Lindemans P., (1985). Monitoring the grain flow on combines. In Agri-Mation 1, pp. 329-338. St Joseph, Mich.: ASAE

Durrence, J.S., Perry, C., Vellidis, G., Thomason, D., Kvien, C., (1998). Evaluation of commercially-available cotton yield monitors in Georgia field conditions.. ASAE Paper 98-3106. ASAE, St. Joseph, MI.

Earl, R., Wheeler, P. N., Blackmore, B. S., Godwin, R. J., (1996). Precision farming-the management of variability. Landwards, 51(4), pp. 18-23.

Eden, T., Maskell, E. J. (1928). The influence of soil heterogeneity on the growth and yield of successive crops. Journal of Agricultural Science, 18, 163-185

Elms, M.K., Green, C.J., (1997). Spatial variability of yield in irrigated cotton. In: Dugger, P., Richter, D.A. (Eds.), Proceedings Beltwide Cotton Conference, 6-10 January 1997, New Orleans, LA. National Cotton Council of America, Memphis, TN, pp. 598-600.

Fairchild, D. S. (1988). Soil information system for farming by kind of soil. In: Proceedings, International Interactive Workshop on Soil Resources: Their Inventory, Analysis and Interpretations for Use in the 1990's, pp 159-164 University of Minnesota, St Paul, MN, USA

S. Fountas, K. Aggelopoulou, C. Bouloulis, G. Nanos, D. Wulfsohn, T. Gemtos, A. Paraskevopoulos, M. Galanis, 2011. Site-specific management in olive tree plantation. *Journal of Precision Agriculture*, 12(2), Pages 179-195

Fraisse CW, Sudduth KA, Kitchen NR. Delineation of site-specific management zones by unsupervised classification of topographic attributes and soil electrical conductivity. *Trans ASAE*. 2001;44(1):155–166.

Franzen, D. W. and Peck, T.R. 1995. Field soil sampling density for variable rate fertilization. *J. of Prod. Agr.* 8:568-574.

Friedman, S. (2005). Soil properties influencing apparent electrical conductivity: a review. *Computer and electronics in agriculture*, 46 (1-3), pp. 45-70.

Gemtos, T.A., Fountas, S., Blackmore, S., Greipentrog, H.W., (2002). Precision farming experience in Europe and the Greek potential Εργασία που παρουσιάστηκε στο Συνέδριο της Ελληνικής Εταιρείας Εφαρμογών Πληροφορικής στη Γεωργία, Αθήνα Ιούνιος 2002.

Hansen, M., Defries, R., Townshend, J., Spelberg, R. (2000). Global land cover classification at 1 km spatial resolution using a classification tree approach. *Remote sensing*, 21 (6-7), pp. 1331 – 1364.

Hofman, A.R., Penigrahi, S., Gregor, B., Walker, J., (1995). In field monitoring sugar beets ASAE paper 95-2114, ASAE, St Joseph, Michigan.

Humphreys, T., Raun, R., Martin, L., Freeman, W., Johnson, G. V., Stone, M. L., (2004). Indirect Estimates of Soil Electrical Conductivity for Improved Prediction of Wheat Grain Yield. *Communications in soil science and plant analysis*, 35 (17- 18), pp. 2639 – 2653.

Jadhav, U.S., Maja, J., Ehsani, R., (2010). Yield monitoring system for citrus mechanical harvester. *Papers of the American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE)*. Paper No. 1009311. St. Joseph, MI: ASABE. 10 pages

Janick, J., Cummins, J.N., Brown, S.K., Hemmat, M., (1996). Apples. In Fruit Breeding, Tree and Tropical Fruits, 1, pp. 1–97. New York: John Wiley and Sons.

Jaynes DB, Kaspar TC, Moorman TB, Parkin TB (2004) Potential methods for reducing nitrate losses in artificially drained fields. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI 49085-9659, United States, Sacramento, CA, United States, 59-69.

Johnson, C. E., Schafer, R. L., Young, S. C., (1983). Controlling agricultural machinery intelligently in Agricultural Electronics 1983 and beyond. Proceedings of the National Conference on Agricultural Electronics Applications, pp 114-119. American Society of Agricultural Engineers, St Joseph, MI, USA

Johnson, C.K., Doran, J.W., Eghball, B., Eigenberg, R.A., Wienhold, B.J., Woodbury, B.L., 2003a. Status of soil electrical conductivity studies by central state researchers. ASAE Paper No. 032339, 2003 ASAE Annual International Meeting, 27–30 July 2003. Las Vegas, NV. ASAE, St. Joseph, MI, USA

Juniper B.E., Robinson J., Harris S.A. and Watkins R., (2001). Origin of the apple (*Malus domestica* Borkh.). In Encyclopedia of Genetics, ed. E.C.R. Reeve, pp 674-677 London: Fitzroy Dearborn.

Kim, Y., Reid, J., (2004). Apple yield mapping using spectral imaging sensor. International Scientific Conference on Agricultural Engineering, Leuven.

Kitchen, N.R.; Sudduth, K.A.; Drummond, S.T. Soil electrical conductivity as a crop productivity measure for claypan soils. Journal of Production Agriculture, v.12, p.607-617, 1999.

Kitchen et al., 2003. Soil electrical conductivity and topography related to yield for three contrasting soil-crop systems. Agronomy Journal. v95. 483-495.

Lambert, D., Griffin, T., (2004). Measuring the Pulse of Technology at the 7th International Precision Agriculture Conference. Purdue University, SSMC Newsletter, August, 2004.

Lark, R.M. and Stafford, J.V. (1997) Classification as a first step in the interpretation of temporal and spatial variability of crop yield. *Annals of Applied Biology*. 130, 111–121.

Larson, A., Roberts, K., English, C., Cochran, L., Wilson, S., (2005). A computer decision aid for the cotton yield monitor investment decision, 48 (3), 216-234.

Lesch, S., Corwin, D., Robinson, D. (2005). Apparent soil electrical conductivity mapping as an agricultural management tool in arid zone soils. *Computer and electronics in agriculture*, 46 (1-3), pp. 351-378.

Li, Ya., Stanghellini, C. (2001). Analysis of the effect of EC and potential transpiration on vegetative growth of tomato. *Scientia Horticulturae*, 89 (1), pp. 9-21.

Linsley, C.M. and F.C. Bauer. 1929. Test your soil for acidity. Circular 346. College of Agriculture and Agricultural Experiment Station, University of Illinois, Champaign, IL.

Long, D.S., Carlson, G.R., DeGloria, S.D., 1994. Quality of field management maps. In: Robert, P.C., Rust, R.H., Larson, W.E. (Eds.), *Site-Specific Management for Agricultural Systems*. 2nd Proc. Int. Conf., Minneapolis, MN, 27-30 March 1994. ASA, CSSA and SSSA, Madison, WI, pp. 251-271.

Marquina, P., Venturini, M. E., Oria, R., & Nequerela, A. I. (2004). Monitoring colour evolution during maturity in Fuji apples. *Food Science and Technology International*, 10, 315–321.

Maja, J.M., Ehsani, R., (2009). Development of a new load-cell based yield monitor for citrus. Proceedings of the Symposium on the Applications of Precision Agriculture for Fruits and Vegetables International Conference. ISHS, Acta Horticulturae 824, pp. 267-274.

Maja, J.M., Ehsani, R., (2010). Development of a yield monitoring system for citrus mechanical harvesting machines. Precision Agriculture Journal. 11(5), pp. 475-487.

Markinos, A., Gemtos, T. A., Pateras, D., Toullos, L., Zerva, G., Papaeconomou, M., (2004). The influence of cotton variety in the calibration factor of a cotton yield monitor. 2nd HAICTA Conference, Thessaloniki, Greece 18-20 March 2004, Vol. 2, pp. 65-74.

McCauley, J.D., (1999). Simulation of Cotton Production for Precision Farming. Precision Agriculture, 1, pp. 81-94.

McKinion, J.M., Jenkins, J.N., Akins, D., Turner, S.B., Willers, J.L., Jallas, E., Whisler, F.D., (2001). Analysis of a precision agriculture approach to cotton production. Computers and Electronics in Agriculture 32, pp. 213-228.

Miller, W. M., Whitney, J. D., (1999). Evaluation of weighing systems for citrus yield monitoring. Applied Engineering in Agriculture. 15 (6), pp. 609-614.

Milne, A. J., Sethares, W. A., Laney, R., and Sharp, D. B. (2011). Modelling the similarity of pitch collections with expectation tensors. Journal of Mathematics and Music, 5(1):1–20.

Moral, F.J.; Terrón, J.M.; Marques da Silva, J.R. 2010. Delineation of management zones using mobile measurements of soil apparent electrical conductivity and multivariate geostatistical techniques. Soil and Tillage Research 106: 335-343.

Morari, F.; Castrignanò, A.; Pagliarin, C. 2009. Application of multivariate geostatistics in delineating management zones within a gravelly vineyard using geo-electrical sensors. Computers and Electronics in Agriculture 68: 97-107.

Pelletier, G, Upadyaya, K.S., (1999). Development of a tomato load/yield monitor. Computers and Electronics in Agriculture (23), pp. 103-107.

Perry, C.D., J.S. Durrence, G. Vellidis, D.L. Thomas, R.W. Hill, C.S. Kvien. (1998). field experiences with a prototype peanut yield monitor. ASAE Paper No. 983095. ASAE, St. Joseph, MI.

Pierce, F.J., Nowak, P., 1999. Aspects of precision agriculture. Adv. Agronomy 67, 1–85.

Ping, J. L. and Dobermann, Achim R., "Processing of Yield Map Data" (2005). *Agronomy -- Faculty Publications*. Paper 365.

Rawlins, S. L., Campbell, G. S., Campbell, R. H., Hess, J. R., (1995). Yield mapping of potato. In Site Specific Management for Agricultural Systems, pp. 59-68.

Searcy, S.W., Motz, D.S., Inayatullah, A., Goering, K.J., (1997). Cotton yield mapping. In: Dugger, P., Richter, D.A. (Eds.), Proceedings Beltwide Conference, 6-10 January 1997, New Orleans, LA. National Cotton Council of America, Memphis, TN, pp. 601-603.

Solari, F., Shanahan, J., Ferguson, R., Schepers, J., & Gitelson, A. (2008). Active sensor reflectance measurements of corn nitrogen status and yield potential. *Agronomy Journal*, 100, pp. 571–579.

Stafford, J. V., Ampler, B., Smith, M. P., (1991). Sensing and mapping grain yield variation in Automated Agriculture for the 21st century, pp. 356-365. St Joseph, Mich.: ASAE.

Stafford, J.V., (2000). Implementing Precision Agriculture in the 21st Century J. Agr. Engng Res.(76), pp. 267-275.

Sudduth, K.A., Drummond, S.T., Birrell, S.J., Kitchen, N.R., 1996. Analysis of spatial factors influencing crop yield. In: Robert, P.C., Rust, R.H., Larson, W.E. (Eds.), Proc 3rd Intl. Conf. on Precision Agriculture, Minneapolis, MN, June 23–26 1996. ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI, pp.129–140.

Sudduth, K., Drummond, S., Kitchen, N. (2001). Accuracy issues in electromagnetic induction sensing of soil electrical conductivity for precision agriculture. Computer and electronics in agriculture, 31 (3), pp. 239-264.

Sui, R., Thomasson, A., Filip, D., (2010). Cotton harvester flow simulator for testing cotton yield monitors. International journal of agricultural and biological engineering, 3 (1), 2010.

Tagarakis, A., Chatzinikos, A., Fountas, S., Gemtos, T., (2006). Delineation of management zones in precision viticulture. 3rd International Conference on Information and Communication Technologies in Agriculture (HAICTA 2006), September 20-23, Volos, Greece.

Tomasson, J.A., Penington, D.A., Pringle, H.C., Colombus, E.P., Tomson, S.J., Byler, R.K., (1999). Cotton mass flow measurements: Experiments with two optical devices. Appl. Eng in Agric. 15(1), pp. 11-17.

Triantafillis, J., Lesch, S. (2005). Mapping clay content variation using electromagnetic induction techniques. Computer and electronics in agriculture, 46 (1-3), pp. 203-237.

Tumbo, S.D., Whitney, J.D., Miller, W.M., Wheaton, T.A. (2002). Development and testing of a citrus yield monitor. Applied Engineering in Agriculture. 18(4), pp. 399-403.

Vellidis, G., Perry, C. D., Durrence, J. S., Thomas, D. L., Hill, D. L., Kwie, R. W., Rains G., (2001). Field testing the peanut yield monitoring. In: Robert P. C., Rust R. H., Larson W. E., (Eds). Proceedings on the Third International Conference on

Precision Agriculture, Mineapolis, USA, pp. 835-844.

Vitharana, U. W. A. *et al.* Key soil and topographic properties to delineate potential management classes for precision agriculture in the European loess area. *Geoderma*, v. 143, n. 01/02, p. 206-215, 2008.

Whelan B. M., McBratney A.B., 2000. The “Null Hypothesis” of Precision Agriculture. *Precision Agriculture*, 2:256-279.

Wollenhaupt, N.C., R.P. Wolkowski, and M.K. Clayton. 1994. Mapping soil test phosphorus and potassium for variable-rate fertilizer application. *J. Prod. Agric.* 7:441–448.

Xiang, Y., Y. Huang and L. Xiong, 2007. Characterization of stress responsive *CIPK* genes in rice for stress tolerance improvement. *Plant Physiol.*, 144: 1416-1428.

Yan SP, Zhang QY, Tang ZC, Su WA, Sun WN (2006) Comparative proteomic analysis provides new insights into chilling stress responses in rice. *Mol Cell Proteomics* 5: 484-496

Yang, C., J. H. Everitt, J. M. Bradford, and D. Murden. 2004b. Airborne hyperspectral imagery and yield monitor data for mapping cotton yield variability. *Precision Agriculture* 5(5), pp. 445-461.

Schumann, A.W., W.M. Miller, Q.U. Zaman, K.H. Hostler, S. Buchanon, and S. Cugati. 2006. Variable rate granular fertilization of citrus groves: spreader performance with single-tree prescription zones. *Applied Engineering in Agriculture* 22(1): 19-24.

Zandonadi, R., Stombaugh, T., Shearer, Queiroz, D., Sama, M. (2010). Laboratory performance of a mass flow sensor for dry edible bean harvesters. *Applied engineering in agriculture*, 26 (1), pp. 11-20.

Zhang, S., Wang, J.Q., Zhang, W.F., Cui, Z.L., Ma, W.Q., Chen, X.P., Jiang, R.F. (2008). Nutrient use efficiencies of major cereal crops in China and measures for improvement. *Acta Pedologic Sinica*, 45, pp. 916–924.

Ελληνική βιβλιογραφία

Αγγελοπούλου, Α. Δ., Blackmore, S., Φουντάς, Σ., Γέμτος, Θ. Α., Νάνος, Γ. Δ., (2007). Μελέτη χωρικής και χρονικής παραλλακτικότητας παραγωγής και ποιότητας σε οπωρώνες μηλιάς. 5^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωργικής μηχανικής, Λάρισα.

Βασιλακάκης, Μ., (2004). Γενική και Ειδική Δενδροκομεία. Εκδόσεις Γαρταγάνη, Θεσσαλονίκη.

Δερμάνης, Α., (1999). Διαστημική γεωδεσία και δυναμική GPS. Εκδόσεις Ζήτη.

Μήτσιος, Ι.Κ. (2004). Γονιμότητα Εδαφών. Εκδόσεις Zymel.

Μήτσιος, Ι.Κ. (1999). 'Εδαφολογία', Εκδόσεις Zymel.

Στυλιανίδης, Δ., Σιμώνης, Α., Συργιανίδης, Γ., 2002. Θρέψη-λίπανση φυλλοβόλων οπωροφόρων δένδρων. Εκδ. Σταμούλη, Αθήνα.